

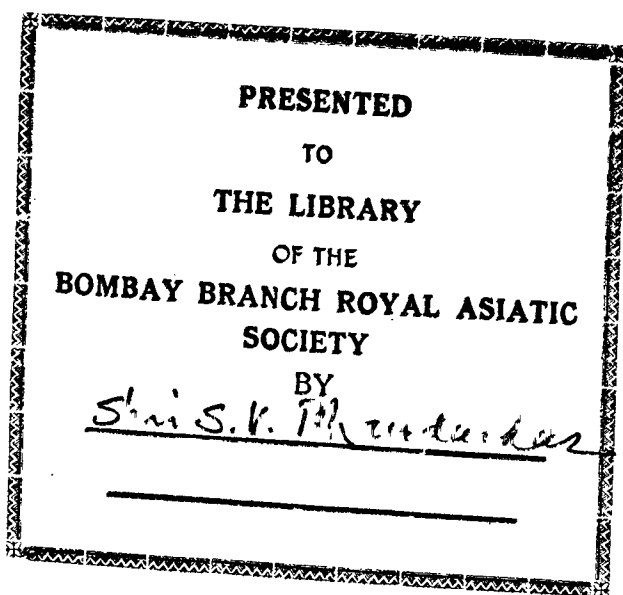
AN INTRODUCTION
TO
NATURAL PHILOSOPHY
—
MODAK

530
Mod
798



00000798

S. V. B.



The Department of Public Instruction, Bombay.

NATURAL SCIENCE SERIES.

AN INTRODUCTION

TO

NATURAL PHILOSOPHY,

TRANSLATED FROM THE ORIGINAL WORK

OF

OF THEODORE COOKE, LL.D., F.G.S.,

PRINCIPAL OF THE COLLEGE OF SCIENCE, POONA,

BY

BALAJI PRABHAKAR MODAK,

LECTURER IN PHYSICAL SCIENCES, RAJARAM COLLEGE, KOLHAPUR.

FIRST EDITION.—3,000 Copies.

*Registered for Copyright under the Government of India's
Act XXV. of 1867.*

Bombay
GOVERNMENT CENTRAL BOOK DEPÔT.

1889.

[All rights reserved.]

Price 8 Annas.

798

BOMBAY :

PRINTED AT THE EDUCATION SOCIETY'S PRESS, BYCULLA.



00000798

मुंबई इलाख्यांतील सरकारी विद्याशाळाखातें.

सृष्टिशास्त्रमाला.

पदार्थविज्ञानशास्त्राचीं मूलतत्त्वे.

थिआडोअर कुक, एल्.एल्. डी., एफ. जी. एस्.

पुणें येथील सायन्स कॉलेजाचे प्रिन्सिपल,

यांणीं केलेल्या इंग्रजी पुस्तकाचें

हें

मराठी भाषांतर

बाळाजी प्रभाकर मोडक,

कोल्हापूर येथील राजाराम कॉलेजांतील

पदार्थविज्ञानशास्त्राचे अध्यापक

यांणीं तयार केलें.

आवृत्ति पहिली, ३,००० प्रती.

ह्या पुस्तकाची मालकी सन १८६७ च्या २५ व्या भाकटाप्रमाणें नोंदिली आहे.

मुंबई.

गवर्नमेंट सेंट्रल बुक डिपो.

इसवी सन १८८९.

या पुस्तकासंबंधी सर्व अधिकार सर हारन आपणाकडे ठेविले आहेत.

किंमत २/४ आणे.

मुंबई:

एज्युकेशन सोसैटीच्या छापखान्यांत छापिलें.

मूळपुस्तककाराची

प्रस्तावना.

मुंबई इलाख्यातील शाळांत पदार्थविज्ञानशास्त्राची मूलतत्त्वे शिकविण्यास उपयुक्त पुस्तक या उद्देशाने हे पुस्तक लिहिले आहे.

या विषयाची मूलतत्त्वे शिकविण्यासाठी प्रयोग करण्याकरिता जो यंत्रसंग्रह पाहिजे, तो प्रत्येक हायस्कूलस (आणि ट्रेनिंग कॉलेजास) पूर्वीच देण्यांत आला आहे. प्रत्येक यंत्रावर नंबर कोरिला असून शिक्षकाच्या सोयीकरिता सर्व ठिकाणी टिपेत ते नंबर दिले आहेत. जसे (नंबर १७).

पुणे, फेब्रुआरी १८८४.

टि. कुक्.

भाषांतरकाराची सूचना—मराठी विद्यार्थ्यांच्या मनांत विषय चांगला भरावा व विषयाची मूलतत्त्वे त्यांस चांगली समजावी असे धोरण धरून भाषांतर केले आहे. जेथे विषय विशेष स्पष्ट करण्याकरिता जास्त माहिती देणे योग्य दिसले तेथे नवीन टिपा दिल्या आहेत.

राजाराम कॉलेज, कोल्हापूर.

ता० ५ जुलै, सन १८८९ इ.

वा. प्र. मो.

तर असे विभाग करितां करितां शेवटीं अशा अतिसूक्ष्म परमाणूंस किंवा अंत्य कणांस आपण पोचूं कीं, त्यांचे आणखी विभाग कोणत्याही रीतीनें करितां येणार नाहीत.

एकाकी किंवा संयुक्त अशा कोणत्याही पदार्थाच्या परमाणूंचा जो अति-अल्प समुदाय व ज्यास वेगळें काढितां येईल असें मानिलें आहे, त्यास अणु असें झणतात. याहून या विषयाची जास्त माहिती देणें हें वास्तविक रसायनशास्त्राचें काम आहे.

(३) अणुशक्ति—ज्या कांहीं विशेष शक्तींनीं अनेक अणु एकत्र होऊन पदार्थ बनले आहेत त्यांस अणुशक्ति असें म्हणतात, आणि यांचा व्यापार अत्यंत सूक्ष्म अंतरावर मात्र चालतो. पदार्थाच्या अणूवर एव आकर्षक आणि दुसरी प्रतिसारक अशा दोन परस्पर विरुद्ध शक्तींचा सतत व्यापार चालला आहे. प्रतिसारक शक्ति उष्णतेपासून उत्पन्न होते. जस-जसा पदार्थातील उष्णतेचा जोर जास्त असतो, तसतसा अणूंमधील प्रति-सारक व्यापार बलवत्तर चालतो. या पुस्तकांत पुढें असें सांगण्यांत येईल कीं, उष्णतेनें पदार्थाची स्थिति बदलतां येते. घन पदार्थ द्रवरूप किंवा वायुरूपही होतो, व या शेवटल्या स्थितींत आकर्षक शक्तीपेक्षां प्रतिसारक शक्ति वास्तविकच फार बलवत्तर होते. अण्व्वाकर्षणाचे स्नेहा-कर्षण, रसायनप्रीति, आणि संलग्नता हे तीन प्रकार आहेत.

(४) स्नेहाकर्षण हा जो अण्व्वाकर्षणाचा भेद आहे, त्याचा व्यापार फक्त एकाच जातीच्या अणूंमध्ये मात्र घडतो. स्नेहाकर्षणामुळेच लोखंडाची कांब किंवा पत्रा यास भरीव स्थिति प्राप्त झालेली आहे. लोखंडां-तील लहान लहान अणु एकमेकांस अशा जोरांनें आकर्षण करितात कीं, चांगल्या लोखंडाच्या सुमारे ३३ इंच व्यासाच्या तारेस ४५ पौंड वजन टांगिलें तरी ती तुटत नाही; एवढ्याच व्यासाची शिशाची तार असली तर तिला २ पौडांचे सुद्धा वजन तोलून धरितां येत नाही; आणि तेवढ्याच जाडीचे कापसाचें सूत घेतलें तर तें अगदीं लहानशा वजनानें सुद्धा तुटेल. ह्या स्नेहाकर्षक शक्तीमुळेच पदार्थाच्या आंगां त्यांचे अनेक धर्म आले आहेत. पदार्थांमध्ये स्नेहाकर्षक शक्तीचा व्यापार ज्या प्रकारें चालत असेल त्या प्रमाणें पदार्थ कठीण किंवा मृदु, प्रारणशील किंवा ठिसूळ, घन, सच्छिद्र किंवा स्फटिकरूप असतात. फार सुंदर व नियमित असे अनेक आकार*

धारण केलेले पुष्कळ पदार्थ सृष्टींत दृष्टीस पडतात. उदाहरणार्थ हिरा. या आकाराच्या पदार्थास स्फटिक अशी संज्ञा आहे. कांहीं नियमित दिशांनीं दुसऱ्या दिशांपेक्षां स्नेहाकर्षणाचा व्यापार जास्त जोरानें चालत असल्यामुळे, स्फटिकांस अनेक आकार प्राप्त झालेले असतात. कढत्या पाण्यांत जितकी तुरटीं विरघळेल, तितकी विरघळवून तसला दाट द्रव घेतला, तर तो शीत झाल्यावर विद्रुत झालेल्या तुरटीचा बराच भाग द्रवापासून वेगळा होऊन अष्टपैलू स्फटिकांच्या रूपानें तळीं बसला आहे असें दिसेल. जर या कढत दाट द्रवांत ओबडधोबड कोकचा तुकडा किंवा एक खरबरीत खडा किंवा तारांचा केलेला चमचा दोरीस बांधून सोडिला, तर त्यावर स्फटिक जमतील, व फार सुंदर अशा आकाराचा स्फटिकांचा एक झुबका बनेल. बाजारी मिठाचा स्फटिकरूप खडा किंवा सफेद सुरम्याचा (क्वाल्कस्पासचा) *तुकडा हातवड्यानें फोडून पहावा; म्हणजे त्याच्या स्फटिकांच्या आकारांत जो भेद असतो, तो दृष्टीस पडेल. मिठाचा खडा फोडला तर त्याचे औरस चौरस भरीव तुकडे पडतात; आणि सफेद सुरम्याचे राखसाच्या आकाराचे चौकोनी तुकडे पडतात.

(५) रसायन प्रीतीचा किंवा रसायनाकर्षणाचा व्यापार भिन्नभिन्न जार्तीच्या अणूंत (मुख्यत्वे परमाणूंत) घडतो; आणि ज्या कारणांनीं स्नेहाकर्षणाचा व्यापार कमी होतो, त्याच कारणांनीं रसायनाकर्षणाचा वाढतो. या दोन गोष्टींत तें स्नेहाकर्षणापासून भिन्न असतें. उष्णता व द्रवीकरण (विच्छेदन) स्नेहाकर्षणाचा जोर कमी करितात; परंतु रसायनाकर्षणाचें कार्य वाढवितात.

(६) संलग्नता—हा एक अण्वकर्षणाचा तिसरा प्रकार आहे, व याचाही व्यापार सन्निध असलेल्या पदार्थांमध्ये परस्पर घडतो. सन्निध असलेल्या पदार्थांच्या पृष्ठभागांच्या अणूंचें परस्पर आकर्षण संलग्नतेच्या व्यापारास कारणीभूत होतें, असें दिसतें. सजातीय आणि विजातीय अशा दोन्ही पदार्थांमध्ये या शक्तीचा व्यापार चालतो. उदाहरणार्थ दोन भरीव पदार्थांमध्ये, भरीव व पातळ पदार्थांमध्ये, आणि भरीव व वायुरूप पदार्थांमध्ये संलग्नता असते. जर एक धातूचा तुकडा द्रवाच्या पृष्ठभागाच्या सन्निध आणिला, तर तो आणिलेला पातळ पदार्थ यांमध्ये इतकी संलग्नता उत्पन्न होते कीं, त्यास परस्परांपासून वेगळें करण्यास

बरीच शक्ति लागते; याच कारणामुळे कांचेच्या दांड्याच्या टोंकावर गुरु-त्वाकर्षणास न जुमानता पाण्याचा थेंब लोंबत राहतो; आणि कांचेचा स्वच्छ तुकडा पाण्यांत बुडविला, तर त्याच्या पृष्ठभागावर हवेचे बुडबुडे राहतात, तेही संलग्नतेमुळेच चिकटलेले असतात. खरवडून चकचकीत केलेल्या शिशाच्या दोन तुकड्यांस एकमेकांवर दाबिले तर ते एकमेकांस फार जोरांने चिकटतात. शिशाची गोळी मधोमध कापून दोन अर्धे एकमेकांवर जोरांने दाबिले असता ते इतके जोरांने एकमेकांस चिकटतात की, त्यांस वेगळे करण्यास ४ औंसांची शक्ति लागते. या आकर्षक शक्तीचें पुढील उदाहरण मोसेले* यांने दिलें आहे. 'कांचेचीं भिंगे कारागिरांच्या हातून अगदीं साफ व गुळगुळीत झालीं, ह्मणजे लायब्ररीमध्ये कपाटांच्या कप्पांत जशीं आपण पुस्तके लावून ठेवितों, त्याप्रमाणें त्यांस पुसून वखारींत उभीं लावून ठेवण्याची चाल आहे. या स्थितींत कांहीं काळीं तीं पुष्कळ वेळां एकमेकांस इतकीं चिकटतात कीं, त्यांस वेगळे करण्यास फार कठीण जातें; आणि कधीं कधीं तर त्यांस वेगळे करितांच येत नाहीं. तीन चार भिंगे एके ठिकाणीं चिकटून त्यांचा असा एक जीव होतो कीं, तें एकच भिंग आहे, असा त्याचा उपयोग करितां येतो, किंवा एकाच भिंगाप्रमाणें हिन्यानेंही कापितां येतें.' एम्. पोट्लेट यांने असें लिहिलें आहे कीं, 'सेंटगोबिनच्या कांचेच्या सरकारी कारखान्यांत जणू काय एकत्र वितळवूनच एक भिंग केलेलें आहे, अशीं अनेक भिंगे एकमेकांस घट्ट चिकटलेलीं आपण पाहिलीं; त्यांपैकीं एका भिंगावरून दुसरें सरकविण्यास फार जोर करावा लागला; आणि येणेंकरून शेवटीं जेव्हां तीं वेगळीं झालीं, तेव्हां त्यांस तपासून पाहतां असें दिसलें कीं, आपल्या मूळच्या साधारणपृष्ठभागीं वेगळीं न होतां एकाच्या पृष्ठभागाचा कपळा दुसऱ्यास चिकटून आला आहे.'

(७) पृष्ठभाग एकमेकांवरून सरकत असतां त्यांच्या चलनास ज्या शक्तीचा प्रतिबंध होतो, तिला यंत्रशास्त्रांत घर्षण असें ह्मणतात. या घर्षणास संलग्नता शक्तीच पुष्कळ अंशीं कारणीभूत असते.

कण्यावर चाक फिरविण्यास कांहीं शक्ति खर्च करावी लागते, व कण्यावर चाकाचें जें घर्षण होतें, त्यामुळे तिची जरूरी पडते. कप्पीच्या चाकीच्या परिघावर त्यावरील दोरीचें जें घर्षण होतें, तेणेंकरून दोरी ओढिली ह्मणजे चाकी गरगरां फिरते. कप्पीचा आंस ज्या आधारावर

असतो, त्यांशीं त्याचें जें घर्षण होतें तें चाकीच्या गतीस प्रतिबंध करितें; आणि जर तेल लावून गुळगुळीत केलेल्या आधारांवर आंसाचें जें घर्षण घडतें त्याहून कृष्णीच्या चाकीचा परिघ आणि तिजवरील दोरी यांमधील संलग्नता जास्त नसतू तर, चाकीस चक्रगति न देतां खांचेवरून दोरी सुळदिशीं सरकली असती.

• (८) निरनिराळ्या पदार्थांचे पृष्ठभाग परस्परांस स्पर्श करीत असतां त्यांमध्ये परस्पर संलग्नता किती असते, हें पाहण्याकरितां प्रयोग करून संलग्नतेचे नियम काढिलेले आहेत. त्या नियमांपैकीं अत्यंत महत्त्वाचा नियम असा आहे कीं, दोन विवक्षित पृष्ठभागांमधील घर्षण, ते पृष्ठभाग ज्या जोंरांनै परस्परांवर दाबलेले असतात, त्या जोंराच्या प्रमाणांत असतें; आणि याच कारणाकरितां चाकावरील ज्या पट्ट्याचें चाकाच्या परिघावर घर्षण घडून चाक फिरतें, तो पट्टा सैल होऊन सरकूं लागला तर त्याची परिघाशीं संलग्नता वाढविण्याकरितां त्यास चाकावर अधिक ताणतात किंवा तंग करितात. मोठ्या कारखान्यांत निरनिराळीं यंत्रें फिरविण्यास लोखंडी चाक व त्यावरील चामड्याचा पट्टा यांमधील घर्षणशक्तीचाच उपयोग करितात. लोखंड आणि पितळ यांमधील संलग्नतेच्या बहुतेक दुप्पट संलग्नता लोखंड आणि चामडें यांमध्ये असते; म्हणून चाकाच्या आंसाचें त्याच्या आधारांवर घर्षण घडल्यामुळें जो प्रतिबंध होतो, त्याहून चामड्याच्या पट्ट्याची चाकास फिरविण्याची शक्ति जास्त असते.

स्निग्ध पदार्थ लावून घर्षण कमी करितां येतें, आणि याचकरितां गाडीच्या चाकांच्या कण्यावर, व यंत्राचे जे भाग परस्परांवर घांसतात, त्या ठिकाणीं तेल लावितात.

(९) पदार्थांचे धर्म—पदार्थांच्या धर्मांचे सांसाद्विक अथवा साधारण आणि औपाधिक अथवा असाधारण असे दोन *वर्ग करितात. पहिल्या वर्गातील धर्म ज्याच्या आंगां नाहींत असा पदार्थ असेल, अशी कल्पना करितां येत नाहीं. उदाहरणार्थ लांबी, रुंदी, जाडी यांचांचून पदार्थ असेल असें मनांत आणितां येत नाहीं. प्रत्येक पदार्थ कांहींना कांहीं जागा व्यापितो, आणि हा पदार्थाचा धर्म साधारण धर्मांपैकीं एक असून यास परिमेयता असें नांव दिलें आहे.

* पदार्थांच्या धर्मांचे वर्ग सामान्य आणि विशेष असेही करितात.

सर्व पदार्थांच्या आंगीं नसून कांहीं विशेष पदार्थांच्या आंगीं मात्र जे धर्म असतात, त्यांस औपाधिक किंवा असाधारण धर्म असें म्हणतात. जसे कांचेचा तुकडा हा पारदर्शक असतो, आणि शिशाचा तुकडा अपारदर्शक असतो. एकांतून आपणास पार दिसतें व दुसऱ्यांतून दिसत नाही. पारदर्शकता हा धर्म कांचेंत आहे, परंतु शिशांत नाही. म्हणून हा सर्व पदार्थांचा साधारण धर्म नसून कांहीं विशेष पदार्थांच्या आंगीं मात्र असतो.

(१०) साधारण धर्म—अत्यंत महत्त्वाचे असे साधारण धर्म ८ आहेत:—

- (१) परिमेयता, (२) निर्भेद्यता, (३) विभाज्यत्व, (४) सच्छिद्रता, (५) संकीच्यत्व, (६) स्थितिस्थापकता, (७) चलनशीलता आणि (८) जडत्व.

(११) परिमेयता—ज्या धर्माच्या योगानें प्रत्येक पदार्थ कांहीं जागा व्यापितो, किंवा त्यास लांबी, रुंदी, आणि उंची किंवा जाडी हीं परिमाणें असतात, त्या धर्मास परिमेयता असें म्हणतात.

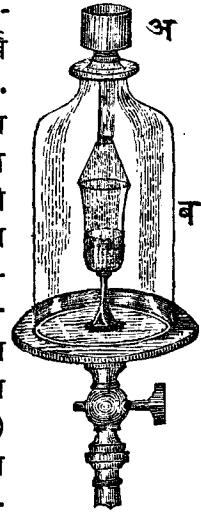
(१२) निर्भेद्यता—ज्या धर्माच्या योगानें दोन पदार्थ समकालीं एकच जागा व्यापूं शकत नाहीत, त्यास निर्भेद्यता असें म्हणतात. हा धर्म जसा लोखंडाच्या आंगीं आहे, तसाच हवेच्या आंगींही आहे. जी जागा हवेनें व्यापिली आहे, त्या जाग्यांत जर लोखंडाचा तुकडा ठेवणें असेल, तर त्या जाग्यांतून हवा काढिल्याशिवाय लोखंडास ती जागा व्यापितां येत नाही.

(१३) विभाज्यत्व—हा धर्म सर्व पदार्थांच्या आंगीं असतो, हें उघड आहे. कारण कोणताही पदार्थ किंवा पदार्थांचा भाग याचि इतके लहान भाग करितां येतात कीं, त्यांचें ज्ञान आपणास इंद्रियांनीं होत नाही, इतके ते शेवटीं सूक्ष्म होतात. पाण्याची वाफ थिजवून केलेल्या शिसाभर शुद्ध पाण्यांत रुप्याच्या नैत्रेटाचा एकच घेन विरघळविला, आणि जर त्या द्रवाचा एक थेंब खिशांतील घड्याळाच्या कांचेच्या भिंगावर घेऊन त्यांत मिठाच्या द्रवाचा एक थेंब मिळविला, तर त्या ठिकाणीं स्पष्ट गढूळपणा दिसतो. रुप्याच्या नैत्रेटाच्या प्रत्येक घेनांत ३ घेन रुपें असतें, आणि एक थेंब हा शिसाभर पाण्याचा सुमारे $\frac{1}{300000}$ वा भाग आहे, म्हणून ज्या द्रवाच्या थेंबांत रुप्याच्या घेनाचा $\frac{1}{800000}$ वा भाग दृश्य होतो, असा थेंब आपणास या ठिकाणीं मिळाला. कस्तुरीच्या बारीक गोळ्यांपासून, व दुसऱ्या सुवासिक पदार्थांपासून जे सूक्ष्म कण नेहमीं जात असतात,

तेही पदार्थाच्या अत्यंत विभाज्यत्वाचीच उदाहरणे आहेत. रंगाच्या द्रव्यांपैकी, एका तीव्र रंगाचा सूक्ष्म भाग पुष्कळ पाण्यांत टाकिला, तर सर्व पाण्यास त्या रंगाची झांक स्पष्ट येण्याजोगा ती त्यांत पसरतो. उदाहरणार्थ एक घनइंच निळाचा $\frac{1}{30,000}$ वा भाग जर सल्फ्युरिक आसिडांत (गंधकाम्लांत) विरघळविला, तर एक ग्यालन पाणी त्या रंगाची झांक दिसण्याजोगें रंगतें. एका ग्यालनांत २७७ घनइंच असतात, म्हणून या ठिकाणीं एक घनइंच पाण्यांत एक घनइंच निळाचा $\frac{1}{23,10,000}$ वा म्हणजे ज्याची कल्पना सुद्धां करितां येत नाही इतका सूक्ष्म भाग असतो.

सूक्ष्मदर्शक यंत्रानें मात्र दृश्य होणाऱ्या अशा अनेक जीवजंतूंचीं इंद्रिये फारच सूक्ष्म असतात. मोनास टेमो या अत्यंत लहान जंतूच्या त्वचेची जाडी एका इंचाचा $\frac{1}{36,000,000}$ वा भाग असते, असें एन्वेर्ग यानें हिशेब करून अनुमान काढिलें आहे.

(१४) सच्छिद्रता-हा धर्म पदार्थाच्या अणुरूप घटनेचा परिणाम आहे. ज्या अणूंचे पदार्थ बनले आहेत, ते अणु अगदीं एकमेकांस लागलेले नसून त्यांमध्ये अंतरें असतात. सर्व पदार्थांची सच्छिद्रता सारखी नसून कमजास्त असते. जे पदार्थ इतके सच्छिद्र असतात कीं, साधारण स्थितींत त्यांच्या छिद्रांतून द्रवरूपी पदार्थ जाऊं शकतात, त्यांस भेदनीय असें म्हणतात (किंवा तो पाझरतो असेंही म्हणतात). मातीची कोरी घागर आणि टिपण्याचा कागद यांस भेदनीय म्हणतां येईल. लांकडाची सच्छिद्रता पुढील प्रयोगानें दाखवितां येते. एका पितळेच्या पत्र्यावर बाक्स उड* लांकडाचा पेल† असा बसविलेला आहे कीं, ब ह्या उंच कचिच्या‡ ग्राहकाच्या माथ्यावर त्यास गच्च बसवितां येतें. (आकृति १ पहा) वाताकर्षक यंत्राच्या तबकडीवर थोडें लुकण§ लावून उंच ग्राहक बसवावा, आणि पेल्याच्या बुडावर बसविलेल्या पितळेच्या पत्र्यास लुकण लावून, तो पेल



आकृति १.

* हें लांकूड वेतासारखें उभ्या हिराचें असतें. † नंबर ५३ पहा. ‡ नंबर ५४ पहा.

§ मेण व खोबऱ्याचें तेल यांस एकत्र वितळवून वाताकर्षक यंत्राच्या प्रयोगांकरितां लुकण तयार करावें; उष्णतामानाप्रमाणें तेल जास्त कमी घालवें.

ग्राहकाच्या तोंडावर बसवावा, आणि पेल्यांत थोडा पारा ओतावा. आतां ग्राहकांतील हवा वाताकर्षक यंत्रानें काढून घेतली तर पाण्यावर जो इवेचा दाब आहे, त्या दाबानें पारा खालीं दाबला जाईल आणि पेल्याच्या बुडांत जो एक चार सहा बोटें लांब लांकडाचा तुकडा बसविलेला असतो, त्याच्या छिद्रांतून बाहेर पडून ग्राहकांत पाऊस पडत आहे असें दिसेल. जो पारा पडेल तो वाताकर्षक यंत्रांत शिरूं नये, म्हणून यंत्राच्या तबकडीवर लांकडांतून जो पारा पडतो तो ग्रहण करण्यास एक कांचेचा उभा पेल* ठेवावा, म्हणजे ही अडचण राहणार नाही.

सोनें हा अतिशय घन पदार्थ आहे; कारण सोन्याहून घन अशा दोनच पदार्थांची आजपर्यंत माहिती लागलेली आहे. सोन्यासारखा घन पदार्थही सच्छिद्र आहे, असें सिद्ध झालें आहे. सन १६६१ सालीं फ्लारेन्स नामक शहरां पाणी जोरानें दाबिलें असतां आकुंचित होतें किंवा नाहीं हें पाहण्याकरितां प्रयोग करण्यासाठीं सोन्याचा एक जाड पोकळ गोल करून त्यांत पाणी भरिलें, आणि त्यास अगदीं गच्च बंद केलें. नंतर त्यास चेपण्याकरितां त्यावर पुष्कळ दाब घातला, तेव्हां सोन्याच्या छिद्रांतून प्रत्यक्ष पाणी बाहेर पडलें ! तसेंच ब्रिटचानिया नांवाचा नळाचा पूल बांधीत असतां ओतीव लोखंड सच्छिद्र असतें, असें प्रत्ययास आलें. या ठिकाणीं लोखंडाचे नळ वर चढविण्यास ज्या जलदाबक (हैड्रालिक प्रेस) यंत्रांचा उपयोग केला होता, त्याच्या ओतीव लोखंडी नळ्यांच्या छिद्रांतून पाणी बाहेर पडलें.

(१५) संकोच्यत्व.—ज्या धर्माच्या योगानें पदार्थावर दाब घातल्यानें त्याचें आकारमान कमी होतें, त्या धर्मास संकोच्यत्व म्हणतात. हा धर्मही पदार्थाच्या अणुरूप घटनेचाच परिणाम आहे, आणि या धर्मानें पदार्थाची सच्छिद्रता सिद्ध होते. बहुतकरून घनपदार्थ फार थोडे संकोच पावतात; पातळ पदार्थ घनपदार्थापेक्षां थोडेसे जास्त संकोच्य असतात; आणि सर्व वायुरूप पदार्थांस तर सहजच फार आकुंचित करितां येतें. वातावरणाचा दाब आहे तितका, म्हणजे दर चौरस इंचास १५ पौंड या मानानें आणखी दाब पाण्यावर घातला तर त्याचा आकार $\frac{1}{20,000}$ वा भाग मात्र कमी होतो; म्हणजे २०,००० ग्यालन पाण्यावर इतका दाब ठेविला तर तें आकुंचित

होऊन १९,९९९ ग्यालन होईल. वायुरूप पदार्थ इतके संकोच्य आहेत कीं, साधारण वातवरणाच्या दाबाखाली असलेल्या वायूचा आकार आणखी एवढ्याच दाबानें निमा होतो. दोन ग्यालन हवेवर याप्रमाणें दाब ठेविला तर ती एक ग्यालन अवकाशांत राहिल.

रुपें आणि दुसरे धातु यांचीं दाबून नाणीं पाडतात, हें भरीव पदार्थांच्या संकोच्यत्वाचेंच उदाहरण आहे. जितकी जाडी व वजन पाहिजे, तेवढ्या जाडीच्या व वजनाच्या रुप्याच्या साध्या चकत्या पाडून त्यांस पोलादी ठशांवर ठेवितात, आणि त्यांवर दुसरे पोलादी ठशांचे दांडे जोरानें दाबितात. वरील ठशाचा दांडा जोरानें त्यावर बसला म्हणजे धातु संकोच पावून ठशाच्या फोकांत जातो, आणि दोहोंबाजूंस ठसा उठतो, व त्याबरोबर नाण्याच्या कंगोऱ्यावरही उभ्या रेषा उमटतात. लांकडांत खिळा मारिला म्हणजे लांकडाचें जें आकुंचन होतें, तें संकोच्यत्वाचें रोजच्या पाहण्यांतलें उदाहरण आहे. वायु फार संकोच्य आहेत हें, हवेनें भरलेला एक रबराचा चेंडू दाबिला असतां त्याचें जें आकुंचन होतें त्यानें दाखवितां येतें. हवेचें संकोच्यत्व पिचकारीत* हवा भरूनही दाखवितां येतें. पिचकारीत हवा घेऊन तिचें खालचें द्वार बंद करावें, आणि तिजमध्ये गच्च बसणाऱ्या द-द्वारावर दाब घालावा, म्हणजे जसजसा दृष्ट्यावरील दाब वाढवीत जावें, तसतसा पिचकारीतील हवेचा आकार हळू हळू कमी होत जातो. निर-निराळ्या भरीव आणि पातळ पदार्थांचें संकोच्यत्व जरी भिन्न भिन्न असतें, तथापि सर्व वायुरूपी पदार्थ सारखे संकोच पावतात. आलीकडे जे प्रयोग करण्यांत आले आहेत, त्यांवरून असें सिद्ध झालें कीं, सर्व वायुरूपी पदार्थांस दाबानें द्रवरूप देतां येतें. कांहीं वायु माफक दाबानें सुद्धां रूपांतर पावतात. उदाहरणार्थ-क्लोरीन (हरितपीत) या वायूस वातावर-णाच्या चौपट दाबानें द्रवरूपांत आणितां येतें; आक्सिजन, नैत्रोजन, आणि हैद्रोजन यांस अगदीं परवांपर्यंत नित्यवायुरूप असें मानीत असत; परंतु त्यांसही आतां द्रवरूप देतां येतें, व त्यांच्या द्रवीकरणास अतिशय दाबाचा उपयोग करावा लागतो. भरीव पदार्थांस कांहीं मर्यादेच्या पली-कडे दाबिलें असतां ते फुटतात, किंवा त्यांची पूड होते. मात्र ही मर्यादा भिन्न भिन्न पदार्थांत भिन्न भिन्न असते. |

(१६) **स्थितिस्थापकता**—ज्या धर्माच्या योगानें पदार्थ कोणत्याही जोरानें विकृति पावल्यावर, त्या जोराचा व्यापार बंद होतांच आपला पूर्वीचा आकार स्वीकारतात त्या धर्मास **स्थितिस्थापकता** म्हणतात.

हें उघड आहे कीं, दाबल्यानें, ताणल्यानें किंवा पीळ घातल्यानें घनपदार्थ विकृति पावतात; आणि ज्या प्रकारची विकृति पदार्थास प्राप्त झाली असेल, त्याप्रमाणें त्याची स्थितिस्थापकता भिन्न भिन्न होते, असें आढळलें आहे. जे पदार्थ फार स्थितिस्थापक आहेत, अशा पदार्थांची उदाहरणें रबर आणि हस्तिदंत हीं होत; आणि ज्यांच्या आंगां स्थितिस्थापकता फार थोडी आहे, अशा पदार्थांची उदाहरणें ओली चिकणमाती, शिसें, आणि मेण हीं होत. रबराची वादी ओढून ताणाची स्थितिस्थापकता दाखवितां येईल. ही वादी अगदीं तुटण्याजोगी न ताणतां जर बेतां ओढून किंवा ताणून सोडिली तर ती अगदीं मूळच्या स्थितीस येऊन पोचते.

एका गुळगुळीत शिळेवर थोडासा तेलचा लेप देऊन, काहीं उंचीवरून हस्तिदंती गोटी* टाकिली तर ती ज्या उंचीवरून टाकिली असेल, तिच्या जवळ जवळ ती वर उडून येते; आणि तेल लाविलेल्या शिळेवर वर्तुळाकृति ठसा उमटतो; व हा ठसा उंची प्रमाणें जास्तकमी व्यासाचा असतो. जर हस्तिदंती गोटी शिळेच्या तेल लाविलेल्या पृष्ठभागावर हळूच ठेविली तर तिचा स्पर्श एका बिंदूंतच मात्र होतो, आणि बिंदूयेवढा मात्र ठसा उमटतो. परंतु गोटी शिळेवर जोरानें आपटल्यावर ती चपटी होऊन, तिचें किती आकुंचन होतें, तें शिळेवर उठलेल्या ठशाच्या परिमाणावरून समजतें. गोटी जर पाहिली तर ती अगदीं मूळच्या स्थितीस आलेली आहे, असें दिसेल. जर शिशाची किंवा मेणाची गोटी शिळेवर टाकिली तर आपटतांच कायमची चपटी होईल, आणि तिला पूर्व आकार प्राप्त होणार नाही. तंबाकू ओढण्याच्या चुट्याच्या नळीच्या तोंडाशीं साबूच्या पाण्याचा बुड-बुड फुगवून टेबलावर सोडिला, म्हणजे आकुंचनाच्या स्थितिस्थापकतेचें उत्कृष्ट उदाहरण दृष्टीस पडतें. बुडबुडा टेबलावर पडतांच बराच चपटा होतो, परंतु टेबलाच्या पृष्ठभागापासून वर उडतांच त्यास त्याचा मूळचा गोल आकार प्राप्त होतो. वायूनें भरलेली त्वचेची किंवा कागदाची पिशवी दाबून किंवा पिचकारींतील† हवेवर गच्च बसणाऱ्या दृष्ट्यानें दाबून वायूची

* नंबर २ पहा.

† नंबर १ पहा.

स्थितिस्थापकता दाखविता येते. पिशवीवरील दाब काढतांच तिजमधील हवा आपल्या स्थितिस्थापकत्वामुळे मूळच्या इतकी जागा व्यापिते. तसेंच पिचकारीतील दट्ट्या आंत बाहेर सारण्याजोगा बसता असला, तर हवेच्या स्थितिस्थापकतेमुळे दाब काढितांच तो आपोआप पूर्वीच्या स्थानास येऊं लागतो.

(१७) **चलनशीलता**—ज्या धर्माच्या योगानें पदार्थाचें स्थलांतर होतें, त्या धर्मास **चलनशीलता** असें ह्मणतात. पृथ्वी व सर्व तारे नित्य फिरत असल्यामुळे **निखालस स्थैर्य** असें या जगांत कोठेंच दिसत नाहीं. चलनाचे दोन भेद मानण्याची चाल आहे. जेव्हां अवकाशांत पदार्थाचें चलन होतें, तेव्हां त्यास **स्वतंत्रचलन** म्हणतात, आणि समोवतालच्या पदार्थाच्या संबंधानें जें चलन होतें त्यास **संबंधीचलन** म्हणतात. कारण पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील इमारत हिला अवकाशांत नित्य स्वतंत्र चलन मिळत असतें. पृथ्वी आपल्या आंसावर फिरत असतां ती या इमारतीस रोज आपल्याबरोबर हजारां मैल अवकाशांतून नेत असते. परंतु तीच इमारत, तिच्या जवळच्या दुसऱ्या इमारतीच्या संबंधानें चलन पावत नसते. तसेंच गाडीत बसून जाणारा मनुष्य गाडीच्या संबंधानें स्थिर असतो. परंतु शेते, घरे, वगैरे ज्या पदार्थापासून तो पुढें जातो त्यांच्या संबंधानें त्याचें चलन स्पष्ट असतें.

पदार्थ चलन पावत असतां त्यांतील कोणताही एखादा बिंदु ज्या त्वरेनें किंवा ज्या मानानें चलन पावतो, त्या त्वरेनें किंवा त्या मानानें पदार्थाचा वेग मापितात, दर सेकंदास ५० फूट या समवेगांनं सरळ रेषेत जर पदार्थ चलन पावत असला, तर त्यास दर सेकंदास ५० फुटांचा वेग आहे, असें म्हणतात. तसेंच एक पदार्थ दर तासास ५ मैल जात असला तर त्यास दर तासास ५ मैल जाण्याचा वेग आहे, असें ह्मणतात. अंतर मापण्यास फूट, आणि काळ मापण्यास सेकंद हीं एके प्रमाणें घेण्याची साधारण चाल आहे.

स सेकंदांत ज्या अंतरांतून पदार्थ चलन पावला आहे, त्या अंतरांतील फुटांची संख्या दर्शविण्यास **अ** अक्षर घेतलें, आणि दर सेकंदास जितके फूट वेगानें पदार्थ चलन पावत आहे, किंवा एकासेकंदांत जितक्या फुटांतून तो चलन पावतो, त्या फुटांची संख्या दर्शविण्यास **व** अक्षर घेतलें, तर **स** सेकंदांत पदार्थानें एकंदर क्रमिलेलें **अ**, अंतर काढण्यास, दर सेकंदांत जितक्या अंतरांतून पदार्थ चलन पावत आहे, त्यास जितके सेकंद तो चलन पावला असेल त्यानें गुणिलें पाहिजे.

म्हणून अंतर काढण्याची सारणी खाली दिल्या प्रमाणें होईल.

अ—वस.....(१)

मात्र या सारणीने अंतर काढते वेळीं हे नेहमीं लक्षांत ठेविलें पाहिजे कीं, अंतर आणि प्रत्येक सेकंदाचा वेग फुटांच्या परिमाणांत, आणि काळ सेकंदाच्या परिमाणांत दिलेला असला पाहिजे. जर कोणत्याही दिलेल्या उदाहरणांत अंतर, काळ, आणि वेग दुसऱ्या परिमाणांत दिलेलीं असतील तर त्यांस या परिमाणांचें रूप दिलें पाहिजे.

उदाहरण—एक भागगाडी दर तासास २० मैल या वेगानें चालत आहे, तर तिचा वेग दर सेकंदास किती फूट असेल ?

यांत अंतर आणि काळ हीं दिलीं असून वेग काढणें आहे. अंतर मैलांमध्ये आणि काळ तासांमध्ये दिलेला आहे, यांस अनुक्रमें फूट आणि सेकंद या परिमाणांत आणिलें पाहिजे.

अ=वस ; म्हणून, व= $\frac{अ}{स}$.

एका मैलांत ५,२८० फूट असतात, म्हणून $व = \frac{२० \times ५,२८०}{६० \times ६०} = २९\frac{१}{३}$ फूट वेग दर सेकंदास.

उदाहरणें.

(१) एक पदार्थ दर सेकंदास २० फूट या वेगानें चलन पावत आहे, तर त्यास १००० याडे अंतर जाण्यास किती काळ लागेल ? उत्तर, २५ मिनिटे.

(२) एक भागगाडी दर सेकंदास ४४ फूट या वेगानें चालत आहे, तर दर तासास किती मैल जाण्याचा तिचा वेग आहे, तें काढ ? उत्तर, ३० मैल.

(३) पृथ्वी आपल्या आसावर २४ तासांत एक प्रदक्षिणा करिते. जर तिच्या परीघ २४,८०० मैल असला तर विषुववृत्तावरील कोणत्याही स्थळाचा वेग दर सेकंदास किती असेल, तें काढ ? उत्तर, $१,५१५\frac{१}{६}$ फूट.

(४) तोफेचा गोळा दर तासांत ३०० मैल या वेगानें जात आहे, व सूर्याचें पृथ्वीपासून अंतर ९,१५,००,००० मैल आहे, तर त्या गोळ्यास सूर्याजवळ पोचण्यास किती काळ लागेल ? उत्तर, ३४ वर्षे २९८ दिवस, ८ तास.

(५) शर्यतीच्या मैदानावरील रस्त्याचा घेर १ मैल १ फर्लींग आणि १७२ याडे लांब आहे. घोडा भरधाव सोडला म्हणजे $२\frac{१}{२}$ मिनीटांत हें अंतर चालतो. तर त्याचा दर सेकंदास किती फूट सरासरी वेग असेल ? उत्तर, ४८.९ फूट दर सेकंदांत.

(१८) जडत्व—जडत्व हा केवळ अभावसूचक धर्म आहे. सर्व पदार्थ गमनावस्थेविषयी व स्थिरावस्थेविषयी उदासीन आहेत. म्हणजे ते

स्वेच्छेने किंवा आपोआप आपली स्थिरता किंवा गति बदलू शकत नाहीत. दुसऱ्या कोणत्याही जोराचा किंवा प्रेरणेचा व्यापार घडून पदार्थास आपली स्थिति पालटण्यास लाविल्या शिवाय तो स्थिर असल्यास आपोआप चलन पावणार नाही, किंवा त्यास एकदां गति मिळाली असली तर तो स्थिर होणार नाही. न्यूटन याचा गतिविषयीचा पहिला नियम पदार्थाच्या जडत्वाविषयी आहे; आणि त्याची व्याख्या खाली लिहिल्याप्रमाणे देता येईल.

पदार्थ ज्या स्थितीत असतो त्या स्थितीचा पालट कांहीं बाह्य कारणाने न झाला तर तो त्या स्थितीत सदांच राहतो; म्हणजे स्थिरावस्थेत असल्यास स्थिर राहतो, आणि गमनावस्थेत असल्यास सदांच रेखेंत समचलनाने चलन पावत राहतो. या नियमापैकी पहिला भाग समजण्यास फारसे कठीण जाणार नाही. कारण कोणताही पदार्थ बाह्य कारणाशिवाय आपली स्थिरता सोडून स्वेच्छेने गति स्वीकारीत नाही, ही गोष्ट दारोज आपल्या पाहण्यांत येते. परंतु वरील नियमाच्या दुसऱ्या भागाची सत्यता समजण्यास थोडे अवघड आहे. कारण कोणत्याही पदार्थास गति दिली तर तो लवकरच स्थिर होतो, असे आपणास दिसते.

तथापि गतियुक्त पदार्थास स्थिरावस्था धारण करण्यास कोणतीं कारणे लावितात याचा आपणास विचार केला पाहिजे. समजा की, जमिनीवर एक चेंडू लोटत लोटत जात आहे; प्रथम याच्या गतीस हवे पामून कांहीं प्रतिबंध होतो; जमिनीवरून जातांना त्यास घर्षणाचा दुसरा प्रतिबंध होतो, आणि पृथ्वी त्यास आपल्याकडे आकर्षून घेते, हा तिसरा प्रतिबंध होय. या तीन कारणांनीं चेंडू स्थिर होतो. या रीतीनें चेंडू स्थिर होतो, म्हणून न्यूटन याच्या नियमास बाध येत नाही; कारण बाह्य कारणांनीं पदार्थाची गमनावस्था या ठिकाणीं पालटते.

रोजच्या पाहण्यांतल्या अनेक गोष्टी पदार्थांच्या जडत्वाचीं उदाहरणे आहेत. एक मुलगा वेगाने धांवत असला, तर त्यास एकदम थांबता येत नाही. तसेच एकाद्या मुलास कांहीं अंतर उडून जावयाचें असलें, तर तो उडी मारण्याच्या ठिकाणीं कांहीं अंतरावरून प्रथमतः धांवत जातो. असें धांवत गेल्यानें त्याच्या शरीरांत जो वेग येतो, त्यानें पुढें उडी मारण्यास सहाय्य होतें; आणि उडी मारण्याच्या ठिकाणीं स्थिर राहून त्यास जितकें अंतर उडून जातें तें आलें असतें, त्याहून जास्त अंतरावर त्यास या रीतीनें उडी मारतां येते.

पदार्थास गमनावस्था प्राप्त झाली म्हणजे त्या अवस्थेंत राहण्याचा जो त्याच्या आंगां कल असतो त्यामुळे, घोडा भरधाव सुटला असता जर एकाएकी थांबला, तर त्यावरील स्वार त्याच्या मानेवर जाऊन पडतो, असें पुष्कळ वेळां घडतें. आगगाडीवर पुष्कळ अपघात याच कारणानें होतात. आगगाडी वेगानें चालत असतां जर रुळावरून निसटल्यामुळे किंवा दुसऱ्या गाडीवर आदळल्यामुळे एकाएकी थांबली, तर आगगाडीच्या डब्यांतील उतारू जरी डब्याच्यासंबंधानें स्थिर होते, तरी ते अवकाशांतून चलून पावत होते; म्हणून त्यांच्या जडत्वामुळे गाडीची गति थांबल्यावरही त्यांच्या शरीरांच्या आंगां पुढें जाण्याची गति राहते, आणि यास्तव ते एकमेकांवर किंवा गाडीच्या लांकडी बाजूवर आदळतात. तसेंच डबेही आपली गमनावस्था राखण्यास यत्न करित असल्यानें मागील डबे पुढच्या डब्यांवर आदळतात, आणि येणेंकरून त्यांचीही खराबी होते; व आगदीं पिछाडीचे डबे आघाडीच्या डब्यांवर प्रत्यक्ष चढतात, असेंही अनेक वेळा पाहण्यांत येतें. जेव्हां सुतार हातवड्याचा लेखंडी भाग दांड्यावर घट्ट बसवूं इच्छितो, तेव्हां तो दांड्याचें दुसरें टोंक जमिनीवर ठोकितो. या ठिकाणींही पदार्थाच्या जडत्वाचाच तो उपयोग करितो. हातवडा व तिचा दांडा या दोघांस गति देऊन एकाएकी दांड्याची गति तो थांबवितो. यामुळे हातवडी तशीच गतियुक्त राहते, आणि दांड्यावरून पुढें सरकते.

एका साध्या यंत्रानें* एक मोठा चमत्कारिक प्रयोग करितां येतो. या यंत्रानें गोटी खालची गंजीफ कमानीनें एकदम उडवितां येते. कमानीनें गंजिफेवर मात्र धक्का बसतो, आणि ती चटकन् पुढें सरकते. आणि गोटीस गति न दिल्यामुळे आपल्या जडत्वानें गंजिफे खालील लहान टिवळ्यांत ती पडते.

असलाच एक प्रयोग काहीं यंत्र घेतल्याशिवायही करितां येतो. मात्र हा प्रयोग करण्यास थोडेंसें हस्तकौशल्य लागतें. डाव्या हाताचें पुढलें बोटां लांब करून त्याच्या अग्रावर एक गंजीफ ठेवावी, व तिजवर बरोबर बोटावरच रुपया ठेवावा. नंतर जर उजव्या हाताच्या मध्यच्या बोटांनें गंजिफेवर जोरांनें चिटकी मारिली, तर ती रुपया खालून निघून जाईल, आणि रुपया आपल्या जडत्वामुळे बोटावर राहील. गंजिफेवर चिटकी मारावची ती जोरांनें व नीट सरळ मारिली पाहिजे.

* नंबर ३ पहा.

(१९) पदार्थांचे औपाधिक किंवा असाधारण धर्म—औपाधिक धर्मांपैकीं उद्धर्तनीयत्व, धारणा किंवा चिंवटपणा आणि दाढ्य किंवा काठिण्य या तीन धर्मांविषयींच मात्र आपण विचार करूं.

ज्या धर्माच्या योगानें पदार्थांचा भंग न होतां त्यास वाढवितां येतें, त्या धर्मास उद्धर्तनीयत्व किंवा तंतुभवनयोग्यता असें नांव देतात. परंतु ज्या धर्मांमुळे पदार्थांस ओढून किंवा दाबून त्याची सहज तार काढितां येत, त्यासच फारकरून उद्धर्तनीयत्व ह्मणतात; आणि ज्या धर्मांमुळे पदार्थांवर हातवडीनें ठोकून किंवा त्यास रुळांमध्ये दाबून (उदाहरणार्थ सोनें) त्याचे पातळ वर्ख किंवा पत्रे करितां येतात त्या धर्मास बहुतेकरून प्रसरणशीलत्व असें नांव देतात. सर्व धातूंत फार प्रसरणशील आणि उद्धर्तनीय असे सोनें, रुपें, आणि प्लाटिनम हे तीन धातु आहेत. यांपैकीं प्लाटिनम धातूची उद्धर्तनीयता फारच विलक्षण आहे. डॉक्टर उल्यास्टन यानें प्लाटिनम धातूची तार इतकी अत्यंत बारीक काढिली होती कीं तसल्या १४० तारांची जुडी करावी तेव्हां ती साधारण एका रेशमी धाग्याच्या जाडी बरोबर होत असे. असली बारीक तार खालीं लिहिल्या रीतीनें तयार केली होती.

बारीक नळीच्या आकाराचा एक सांचा करून त्याच्या आंसामध्ये एक बारीक प्लाटिनमची तार बसविली; आणि सांच्यामध्ये वितळविलेलें रुपें ओतून तिजवर समोवार रुप्याचें आच्छादन दिलें. नंतर जिच्या मध्यांत प्लाटिनमची तार होती, अशा या मिश्र तारेस ओढून जितकी बारीक तार काढण्याचा संभव होता, तितकी काढिली. नंतर नैत्रिक आसिडांत ही तार बुडवून तिजवरील रुप्याचें आच्छादन विरघळवून टाकिलें. नैत्रिक आसिडाचें कार्य प्लाटिनम धातूवर होत नसल्यानें प्लाटिनमची वर सांगितल्या जाडीची बारीक तार सलग तयार झाली. सोनेही फार उद्धर्तनीय आणि प्रसरणशील धातु आहे. ज्या सोन्याच्या वर्खाचा उपयोग सोनें चढविण्यास करतात ते वर्ख अतीशय पातळ होईपर्यंत सोनें ठोकून व रुळांमध्ये दाबून करतात. एक औंस ह्मणजे अडीच तोळे सोन्याचा १०० चौरसफूट क्षेत्राचा वर्ख करतां येतो.

(२०) धारणा किंवा चिंवटपणा—ज्या धर्माच्या योगानें पदार्थांचे अणु किंवा कण जास्त किंवा कमी शक्तीनें एकमेकांस बळकट धरितात, त्या धर्मास धारणा किंवा चिंवटपणा असें ह्मणतात. पदार्थांची

धारणाशक्ति (चिंत्यपणा) स्नेहाकर्षक शक्तीवर अवलंबून असते. हाही माहीत असलेल्या सर्व पदार्थांत पोलादाच्या आंगां धारणाशक्ति अतिशय आहे. एक घनइंच जाडीची पोलादी कांब तोडण्यास १,१४,००० पौंड ह्याज ५० टनांहून (सुमारे ७० खंडांहून) काही जास्त जोराची शक्ति लागते. याच्या खालोखाल धातूच्या धारणाशक्ति पुढे दिलेल्या क्रमानें असतात. लोखंड, तांबें, प्लाटिनम, रुपें, सोनें, जस्त, कथील, आणि शिसें. शिसेच्या तारेची धारणाशक्ति तेवढ्याच जाडीच्या पोलादी तारेच्या फक्त ३६ असते. निरनिराळ्या धातूंच्या सारख्या जाडीच्या *तारांच्या धारणाशक्तींत भेद किती आहे हे त्या तुटेपर्यंत त्यांस वजनं टागित्यानें कळतें.

(२१) दाढर्य किंवा काठिण्य—एका पदार्थावर दुसऱ्या पदार्थाचें उल्लेखन होण्यास जो पहिल्याचा दुसऱ्यास प्रतिबंध होतो त्या प्रतिबंधास दाढर्य किंवा काठिण्य असें म्हणतात. पाणी दिलेल्या पोलादाचा तुकडा इतका कठीण असतो कीं, थोड्याच पदार्थांनीं त्यावर ओरखडतां येतें; परंतु बहुतेक पदार्थावर ओरखडा पाडण्यायोगा तो कठीण असतो. पाणीदार पोलादाच्या कानशीनें सर्व दुसरे धातु कानसतां व कापितां येतात. हिरा सर्व पदार्थांत अत्यंत कठीण व दृढतम आहे. तो सर्वांस ओरखडतो. परंतु त्यावर कशानेंच उल्लेखन होत नाहीं. खनिज पदार्थवेत्ते खनिज पदार्थ ओळखण्यास याच धर्माचा उपयोग करितात; आणि एखादा खनिज पदार्थ त्याच्या काठिण्यावरून एकदम अमका आहे असें त्यांस सांगतां येतें. निरनिराळ्या पदार्थांच्या काठिण्याची तुलना करितां यावी ह्याणून एक काठिण्याची श्रेढी केली आहे. या श्रेढींत खनिज पदार्थ क्रमानें पंगतवार लिहून काठिण्याच्या मानांनं त्यांस १।२।३ या संख्यांनीं दर्शविलें आहे. ती श्रेढी खाली दिली आहे.

१ अभ्रक (Talc)	६ चंद्रकांत (Felspar)
२ सैधव (Rock Salt)	७ कांचमणी(गार)(Quartz)
३ सफेदसुरमा (Calc Spar)	८ पुष्पराग (Topaz)
४ चित्रखनिज (Fluor Spar)	९ कुरंद (Corundum)
५ गोमेद (Apatite)	१० हिरा (Diamond)

कोणत्याही खनिज पदार्थाच्या काठिण्याचा किंवा दाढर्याचा निश्चय करून श्रेढीतील कोणत्या संख्येनें त्यास दर्शवितां येईल, हे काढणें असलें, तर त्यावर श्रेढीतील काहीं खनिज पदार्थांचें उल्लेखन करून पाहतात.

जर तो खनिज पदार्थ गारेवर उल्लेखन करण्या जोगा कठीण असला, तर तो गारेहून कठीण आहे हें उघड आहे; आणि जर त्या पदार्थावर पुष्परागांनं चरा पडला, तर तो पुष्परागाहून कमी सुदृढ किंवा कठीण असला पाहिजे; दहणून असल्या खनिज पदार्थास पुष्पराग आणि गार या दोहोंच्या मध्ये स्थान देतात, आणि त्याचें काठिण्य ७.५ या संख्येनें दर्शवितात. हीण किंवा मिश्र धातु त्यांच्या घटक शुद्ध धातूपेक्षां नेहमीं जास्त कठीण असतात, हा चमत्कार आहे. आणि याच कारणाकरितां ज्या सोन्याच्या नाणीं पाडण्यास उपयोग करावयाचा असतो, त्यांत तांबें मिसळून त्यांस हीण करितात. कारण असे मिश्रणानें हीण झालेले धातु शुद्ध सोन्याच्यापेक्षां जास्त कठीण असतात.

(२२) पदार्थांचे किंवा द्रव्यांचे नित्यत्व—सर्व द्रव्य नित्य अथवा अविनाशी आहे. जरी याची आपणास स्थिति बदलतां येते, व त्याचा नव्या पदार्थाशी संयोग करितां येतो, तथापि त्याचा नाश करितां येत नाही, दहणजे आपणास त्यास नष्ट करितां येत नाही. उदाहरणार्थ आपणास पाण्याची वाफ करितां येते; परंतु वाफ हें वायुरूप धारण केलेलें पाणीच होय. आणि वाफेस पूर्वीच्या द्रवस्थितींत पुनः आपणास आणतां येतें. जेव्हां आपण गंधकाचा खडा जाळतो, तेव्हां बाह्यात्कारी त्याचा आपण नाश केला असें दिसतें. तथापि वास्तविक पाहिलें असतां गंधक हवेतील आक्सिजनाशी संयोग पावतो व नवा एक संयोगी पदार्थ बनतो. तो वायुरूप असल्यामुळे आपणास दिसत नाही; परंतु गंधकाच्या जळण्यापामून उत्पन्न झालेला सर्व वायु भांड्यांत धरिला तर जळून गेलेल्या गंधकाचा प्रत्येक कण त्या वायूंतून आपणास रसायनरीत्या काढितां येईल.

पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर सेंद्रिय द्रव्यें स्वभावतः नेहमीं कुजतात, आणि जरी मेलेले प्राणी व वनस्पति कुजतांना आपण पाहतों, तरी त्यांच्या द्रव्याचा नाश होत नाही; म्हणजे त्यांमधील यत्किंचित द्रव्य नाहीसें होत नाही. कारण सेंद्रिय पदार्थ कार्बान, हैद्रोजन आणि नैत्रोजन यांचे बनलेले असतात; त्यांच्या पृथग्भवनांनं त्यांचे संयोगी पदार्थ कार्बानिक आसिडवायु, पाणी आणि आमोनिया उत्पन्न होतात. हे पदार्थ जमीन व हवा यांतून पुनः शोषले जाऊन, नवे प्राणी व नव्या वनस्पति यांच्या घटनेत ते पुनरपि शिरतात.

प्रकरण २.

वातावरण.

उष्णतेचे पदार्थावर परिणाम.

(२३) वातावरण—पृथ्वीच्या समोवती हवेचें जें आवरण आहे, त्यास वातावरण असें म्हणतात. याच्या गतीपासून जे वारे व वादळे उत्पन्न होतात, त्यांवरून या वायुरूप आवरणाचें अस्तित्व आपणास समजतें; परंतु जेव्हां हवा शांत असते, तेव्हां सुद्धां आपण जलदीनं चाललों, म्हणजे तिच्या अस्तित्वाचें आपणास ज्ञान होतें.

हवा हा प्रवाही पदार्थ आहे, आणि जरी तो अदृश्य आहे तरी त्याच्या आंगां पदार्थांचे सर्व सांसादिक धर्म आहेत. जसें—हवेस वजन आहे. हवा भरलेल्या पात्राचें* प्रथम वजन करावें; आणि नंतर वाताकर्षक यंत्रांनी† त्यांतील हवा काढून त्याच रित्या भांड्याचें वजन करावें. म्हणजे रित्या भांड्याचें वजन कमी भरतें, आणि हवेस वजन आहे, ही गोष्ट सिद्ध होते. प्रमाणभूत कल्पिलेल्या हवेच्या दाबावर व प्रमाणभूत उष्णतामानावर १०० घन इंच कोरड्या हवेचें वजन ३१.०११७ ग्रेन असतें; किंवा स्थूल मानांनं एक घन इंच हवेचें वजन $\frac{3}{8}$ ग्रेन समजावें.

(२४) वातावरणाचा दाब—जसजसें वर जावें, तसतसें वातावरण विरल होत गेलें आहे; आणि फार उंच पर्वताच्या शिखरावर हवा इतकी विरल असते कीं, तिजमध्ये श्वासोच्छ्वासनक्रिया बरोबर चालत नाही. या गोष्टीवरून आणि प्रकाशाचें वक्रीभवन आणि संधिप्रकाश ह्यांपासून जे कांहीं सृष्टचमत्कार घडतात त्यांवरून वातावरणाची उंची ४५ मैल आहे, असा अजमास केलेला आहे. या उंचीच्या पलीकडे जर कांहीं हवा असलीच तर ती इतकी विरल असली पाहिजे कीं, ती बहुतेक समजण्यांत येणार नाही. व्यापेक्षां एक घनइंच हवेचें वजन बरेंच आहे, व्यापेक्षां ४५ मैल उंच अशा हवेच्या स्तंभाचा त्याच्या पायावर बराच दाब पडला पाहिजे; आणि असें आढळून आलें आहे कीं, समुद्राच्या सपाटीवर वातावरणाचा दाब दर चौरस इंचावर सुमारे १५ पौंडांचा असतो. मनुष्याच्या

* नंबर ४८ पहा.

† नंबर ४० पहा.

शरीराचा पृष्ठभाग सुमारे २३०० चौरस इंच आहे, म्हणून प्रत्येक साधारण आकाराच्या मनुष्यावर १५ टनांचा ह्मणजे सुमारे २१ खंडांचा दाब पडतो. परंतु सर्व दिशांकडे सारखा दाब घालण्याचा जो प्रवाही पदार्थाचा धर्म आहे, तो नसता तर कोणत्याही जिवंत प्राण्याच्या हातून एवढा प्रचंड दाब सहन करविला नसता. तथापि सर्व दिशांकडे हवेचा दाब सारखा पडत असल्यामुळे, आणि मानवी शरीरांत हवा व दुसरे प्रवाही पदार्थ आहेत, त्यांवर जेवढ्या जोरांने वातावरणाचा दाब पडतो तेवढ्याच जोरांने ते उलट वातावरणावर दाबितात, म्हणून हा दाब आपणास कळत नाही. शरीरांतील प्रवाही पदार्थ उलट दाबितात, ही केवळ कल्पना नसून तुंबडी लावण्याची जी रीति आहे, तिजवरून ही गोष्ट सिद्ध होते. कांचेचे किंवा धातूचे लहान पेलें शरीराच्या कातडीवर बसवितात; तेव्हां या पेल्यांतील हवा प्रथमतः काढून घेतली असल्यामुळे पेल्यांच्या खालील कातडी फुगते, लहान रक्तवाहिन्या शिरा फुटतात, आणि रक्त वाहूं लागते; कारण ह्यावेळीं पेल्यांतील हवा काढून घेतलेली असल्यामुळे, रक्तवाहिन्यांतील रक्त पूर्वीप्रमाणे वातावरणाच्या दाबांने तोंडले जात नाही,* म्हणजे हवेचा दाब नसल्याने रक्तवाहिन्यांत पूर्वी प्रमाणे रक्त राहत नाही.

वाताकर्षक यंत्राशिवाय हवेचा प्रचंड दाब दाखविण्यासाठी खालील लिहिल्याप्रमाणे एक चमत्कारिक प्रयोग करिता येतो.

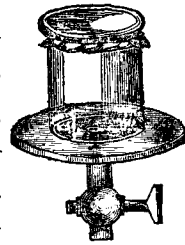
सुमारे एक फूट उंच आणि ४ इंच व्यासाचे आणि दोहों तोंडांनी बंद असलेला एक कथिलाचें पंचपात्र कोणाही कल्हईगाराकडून तयार करावे. या पंचपात्राच्या एका तोंडावर साध्या बाटलीचें बूच बसण्याजोग्या आकाराची लहानशी कथिलाची नळी बसवावी. या नळीतून पंचपात्रांत थोडेंसे पाणी ओतून दिव्यावर तें पाणी कढवावे. कढत्या पाण्याच्या वाफेने पंचपात्रांतील सर्व हवा बाहेर घालविली, ह्मणजे पंचपात्र दिव्यावरून काढून एकदम त्याच्या तोंडास बूच बसवावे. आतां पंचपात्रांत पुकळ पाण्याची वाफ आहे आणि कदाचित थोडी हवाही असेल. पंचपात्रास

* हा प्रयोग साध्या दारू किंवा पाणी पिण्याच्या पेल्यांनेही करिता येतो. एका पेल्यांत थोडे सेकंद पर्यंत कागदाचा तुकडा पेटवून टाकावा. किंवा मयार्काचे कांहीं थेंब टाकून पेटवावे. येणें करून पेल्यांतील हवा पातळ होते. नंतर पेला झटकन हातावर पालथा दाबिला, तर कातडी फुगलेली स्पष्ट दिसेल.

† नंबर ५२ पहा.

थंड करून पाण्याच्या वाफेस आकुंचित करितां येईल, किंवा तिचें पाणी करितां येईल. वाफेच्या स्थितींत जेवढी जागा त्या वाफेनें व्यापिली होती, तिचा $\frac{1}{1000}$ वा भाग तिचें झालेलें पाणी व्यापितें. ह्मणून वाफ आकुंचित झाली ह्मणजे पंचपात्र पुष्कळ अंशीं रितें* होईल. पंचपात्रावर थंड पाणी ओतून वाफेचें आकुंचन करावें ह्मणजे हवेच्या दाबांनं पंचपात्र खुप जोरांनं चेंपून जाईल. कारण पंचपात्रांतील हवा काढून घेतल्यामुळें त्यांत बाहेरील हवेच्या दाबास समतोल धरण्यास आंतून दाब नसतो.

(२५) वाताकर्षक यंत्रांनं हवेच्या दाबाविषयीं अनेक प्रयोग करितां येतात. ह्या यंत्रांनं भांड्यांतील हवा काढून घेतां येते. ह्याची रचना पुढें सांगितली आहे. वाताकर्षक यंत्राच्या तबकडीवर दोहों तोंडांनीं उघडा असा एक कांचेचा ग्राहक† ठेवून उघड्या तोंडावर हात गच्च धरिला, आणि ग्राहकांतील हवा काढून घेतली ह्मणजे हातावरील हवेचा दाब आंतून तोंडला जाणार नाही, व त्या दाबांनं हात खालीं दाबिला जाईल; ह्याप्रमाणें हातास जी आंत ओढा लागेल, तिजवरून हवेच्या दाबाच्या परिमाणाची कांहीं कल्पना करितां येईल. त्याच ग्राहकाच्या वरच्या तोंडावर पातळ त्वचा बांधून ग्राहकास रितें करूं लागावें. ह्मणजे वरील हवेच्या दाबांनं त्वचा आकृति २.



खोलगट होत जाऊन शेवटीं फाटेल, व मोठा आवाज होईल. (आकृति २ पहा.)

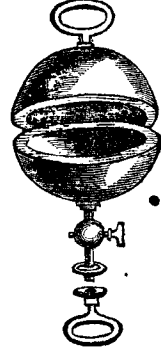
ह्या प्रयोगावरून हवेचा दाब अधोमुख असतो हें सिद्ध झालें. आतां हवेचा दाब सर्व दिशांकडे सारखा पडतो हें दाखविण्याकरितां ओटो व्हान मेरिक (यांनं वाताकर्षक यंत्राचा शोध लाविला) यांनं म्याग्डेबर्ग-होमिस्फिअर्स‡ या नांवाच्या दोन गोल अर्धांचें यंत्र काढिलें आहे. या यंत्राचा उपयोग इ० स० १६५४ पासून करूं लागले, आणि हवेच्या दाबाविषयीं ज्या प्रथमतः अनेक सिद्धता कळल्या, त्यांपैकींच एक या

* ज्या बंद जाग्यांतून अगदीं हवा काढून घेतलेली आहे, ती पूर्ण रिती जागा होय परंतु अशी रिती जागा करणें फार कठीण आहे. ज्या जागेतील कांहीं हवा काढून घेतली आहे, ती अपूर्ण रिती जागा होय; व अशा रित्या जाग्यांत जशी जशी हवा कमी असेल त्याप्रमाणें ती पूर्ण रिक्तेच्या अवळ अवळ येईल.

† नंबर ५० पहा.

‡ नंबर ५७ पहा.

यंत्रावरून समजली. एकमेकांवर बरोबर बसणारीं अशीं हीं दोन गोल अर्धे असतात. जेव्हां यांच्या आंतील हवा आपण काढून घेतों, तेव्हां हवेचा दाब चौहोंकडून त्यांवर सारखा पडत असल्यामुळे तीं एकमेकांवर इतक्या जोरांने दाबलीं जातात कीं, त्यांस वेगळे करण्यास बराच जोर करावा लागतो. (आकृति ३ पहा.)



आकृति ३.

किलीच्या नळींतील हवा ओढून घेतली, ह्मणजे ती ओंठास चिकटते, याचेंही कारण हेंच असतें. या ठिकाणीं जो पृष्ठभाग दाबला जातो, तो जरी लहान असतो, तरी, ओंठावर किली ज्या जोरांने दाबिते तो जोर बराच असतो.

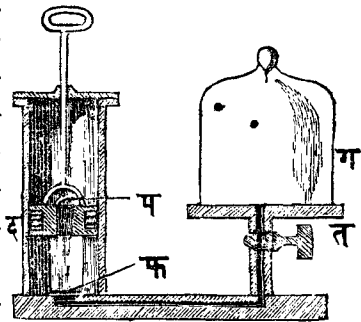
एका लांब नळीचें एक टोंक पाण्यांत बुडवून दुसऱ्या टोंकास तोंड लावून हवा ओढून घेतली ह्मणजे नळींत पाणी चढतें. या प्रयोगांत ओढल्यामुळे पाणी वर चढतें अशी पुष्कळांची गैर समजूत आहे; परंतु याचें खरें कारण असें आहे कीं, नळींतील हवा ओढून घेतल्यामुळे नळीच्या बाहेरील पाण्याच्या पृष्ठभागावर जो हवेचा दाब आहे, त्यास तोलून धरण्याजोगा नळींत उलट दाब नसतो. ह्मणून हा दाब पाण्यांतील नळीच्या तोंडाशीं तेलला न गेल्यामुळे पाण्यास वर ढकलतो. जेव्हां विहिरीचें पाणी काढण्यास साधा बंब लावितात, तेव्हां त्याचेंही याच प्रमाणें कार्य घडून त्यांत पाणी चढतें. दृष्ट्या वर उचलिला ह्मणजे बंबाच्या नळींत रिती जागा होते, आणि पाण्याच्या पृष्ठभागावरील हवेच्या दाबास तोलून धरण्यास बंबाच्या नळींत तितका उलट दाब नसल्यामुळे ह्या बाह्य दाबांने बंबांत पाणी वर ढकललें जातें.

(२६) **हवेची स्थितिस्थापक शक्ति**—हवा फार संकोच्य आहे, असें मागील प्रकरणांत सांगितलेंच आहे. तशीच ती फार प्रसरणशील किंवा स्थितिस्थापकही आहे. विवक्षित आकारमानाच्या हवेच्या आंगां, तिजवरील जसजसा दाब कमी करावा त्याप्रमाणें, प्रसृत होऊन अधिकाधिक मोठा आकार धारण करण्याचा एकसारखा कल असतो. जसें, थोडी हवा असलेली त्वेची पिशवी* वाताकर्षक यंत्राच्या ग्राहकाखाली ठेविली, आणि तिच्या सभोंवतालच्या हवेचा दाब ग्राहक रिता करून काढून

* नंबर ५७ पहा.

घेत गेलें, तर ती पिशवी हवेनें पूर्ण भरून ताठ होईपर्यंत हळूहळू फुगत जाईल; परंतु ग्राहकांत पुनः हवा घेतांच पिशवी पूर्व आकार धारण करील. हवेप्रमाणें एकसारखा प्रसरण पावण्याचा दुसऱ्या सर्व वायूंच्या आंगांही धर्म आहे. यावरून हें उघड आहे कीं, वायूंमध्ये स्नेहाकर्षणाचा जोर अगदीं नष्ट होऊन प्रतिसारणाचा जोर फार बलवत्तर झालेला असतो.

(२७) वाताकर्षक यंत्र—ओटो व्हान ग्वेरिक यानें वाताकर्षक यंत्र शोधून काढिलें. या यंत्राचा प्रयोगकारास फार उपयोग होतो. साध्या वाताकर्षक यंत्रांत एक गोल नळी असून तींत गच्च बसणारा द दृष्ट्या खालवर सरकत असतो. (आकृति ४ पाहा.) या दृष्ट्यास प हा पडदा असतो. तो वरच्या बाजूनें मात्र उघडतो. आणि तो बंद असला म्हणजे वरील हवेस खाली जाऊं देत नाहीं. नळीच्या तळाशीं वरच्याच



आकृति ४

बाजूस उघडणारा एक फ पडदा लाविलेला असतो. त ही यंत्राची तबकडी असून तिजवर ग हा ग्राहक बसविलेला दाखविला आहे. या ग्राहकांतून हवा काढून घेणें आहे, असें आपण समजूं. द दृष्ट्यास प्रथमतः नळीच्या माथ्यापर्यंत वर ओढूं. म्हणजे प पडदा वरून बंद रहात असल्यामुळें बाहेरील हवा वरून त्याखालीं जाणार नाहीं; म्हणून दृष्ट्याच्या खालीं नळीत रिती जागा होईल. ग ग्राहकांतील हवेवर खालून दाब नाहींसा झाल्यामुळें ती प्रसरण पावेल आणि फ पडद्यास उघडून ग्राहक व नळी या दोहोंमध्ये ती प्रसृत हवा भरेल. आतां दृष्ट्यास खालीं सारिलें म्हणजे नळींतील हवा आकुंचित होईल, व तिच्या दाबांनें तळचा फ पडदा बंद होईल; आणि दृष्ट्यांतील प पडदा उघडेल, आणि आकुंचित झालेली हवा त्यांतून बाहेर पडेल. हाच क्रम पुनः पुनः चालविल्यानें म्हणजे दृष्ट्यास वर खालीं सारीत गेल्यानें ग्राहकांतील हवा अधिकाधिक पातळ होत जाऊन, अखेर ती इतकी पातळ होते कीं, तळचा फ पडदा उचलण्याजोगी तिच्या आंगां स्थितिस्थापकशक्ति राहत नाहीं. असें झालें म्हणजे यंत्राच्या सामर्थ्याची सीमा झाली असें समजावें.

चवथ्या आकृतींत दाखविल्या प्रकारच्या वाताकर्षक यंत्रांत खालचा प-
डदा न उघडण्याजोगी ग्राहकांतील हवेची स्थितिस्थापकशक्ति झाली कीं
यंत्राचें कार्य बंद होतें, आणि पुष्कळ शक्ति व्यर्थ जाते. ज्यांतून हा दोष
काढून टाकिला आहे, अशी सुधारलेली वाताकर्षक यंत्रे* करण्यांत आलीं
आहेत, व त्यांच्या योगानें ग्राहकांतील हवा फार पातळ करितां येते.

(२८) वायुभारमापक—वायुभारमापकाचा शोध इ० स० १६४३
सालीं ग्यालिलिओचा शिष्य टारिसेली यणें लाविला. सुमारें ५५
फूट लांबीची व एका तोंडांनें बंद अशी कांचेची लांब नळी† घेऊन ती पा-
ण्यानें भरावी; आणि पारा भरल्यावर तिचें उघडें तोंड आंगठ्यानें बंद करून
पारा असलेल्या पेल्यांत तिला उपडें करावें. उघडें तोंड पाण्याच्या पृष्ठ-
भागाखालीं जातांच जर आंगठा काढून घेतला, तर खालीं लिहिल्या प्र-
माणें परिणाम दृष्टीस पडतील.

समुद्रकांठीं नळींतील पारदस्तंभाची उंची पेल्यांतील पाण्याच्या पृष्ठ-
भागावर सुमारें ३० इंच होईपर्यंत नळींतील पारा उतरेल. पेल्यांतील
पाण्याच्या पृष्ठभागावर जो हवेचा दाब आहे, त्यानें नळींत पारदस्तंभ
स्थिर राहिला आहे. कारण त्यास उलट खालीं दाबण्यास आतां
नळींत हवा नाही. नळीच्या बंद असलेल्या टोंकास भोंक पाडिलें
किंवा तें टोंक फोडिलें तर नळींतील पारा उतरून पेल्यांतील पाण्याच्या
सपाटीबरोबर मात्र नळींत पारा राहील. नळीच्या सर्व पोकळींत पारा
न राहतां पारदस्तंभ ३० इंच उंचीवरच कां राहतो, याचें कारण आतां
सांगितलें पाहिजे. वर आपणास समजलें कीं, वातावरणाच्या उंचीस
कांहीं इयत्ता आहे. पेल्यांतील पाण्यावर जो हवेचा स्तंभ आहे, त्या सर्व
स्तंभाच्या वजना इतकाच पेल्यांतील पाण्याच्या पृष्ठभागावर हवेचा दाब
आहे. यास्तव हें उघड आहे कीं, हा हवेचा स्तंभ आपल्या वजना इ-
तक्या वजनाच्या पाण्यास नळींत तेलून धरील. यावरून असें सिद्ध

* टेटच्या वाताकर्षक यंत्रांत (नंबर ४०) हा दोष काढून टाकिलेला आहे व
यानें उत्तम रिक्तस्थळ करितां येतें.

† नंबर ६० पहा.

‡ जर हा प्रयोग दक्षिणेंत उक्कनमध्ये म्हणजे महाराष्ट्र व कर्नाटक या प्रांतीं केला,
तर ३० इंचांच्या जागीं पाण्याची उंची सुमारें २८ इंच असेल. गुजराथच्या बहुतेक
भागीं २९ व ३० इंच यांच्या दरम्यान असेल.

होतें कीं, जो पारदस्तंभ नळींत तोलला गेला आहे, त्याचें वजन नळीच्या तोंडाच्या क्षेत्रा एवढ्या क्षेत्राच्या पायावर जो हवेचा स्तंभ असेल, त्याच्या वजना इतकेंच आहे. पारदस्तंभाच्या उंचीचें हेंच कारण बरोबर आहे, हें **पास्कल** यानेंच प्रथमतः निश्चयात्मक सिद्ध केलें. यानें अशी कल्पना लढविली कीं, जर भारमापकांतील पारदस्तंभाची उंची नळीच्या पोकळीच्या क्षेत्राएवढ्या क्षेत्राच्या पायावरील हवेच्या स्तंभाच्या वजनाची दर्शक असेल, तर पर्वतावर भारमापक यंत्र घेऊन चढल्यानें पेल्यांतील पाण्यावरील हवेच्या स्तंभाची उंची व त्याचें वजन अशीं दोन्ही ज्यपेक्षां कमी होत जातील, त्यापेक्षां भारमापकांतील पारदस्तंभाची उंची कमी झाली पाहिजे. याची प्रचीति पाहण्याकरितां **प्युड डि डोमे** या पर्वतावर **पास्कल** यानें आपला प्रसिद्ध प्रयोग केला, आणि त्यानें पूर्वी अनुमान केल्याप्रमाणेंच अगदीं परिणाम घडून आला*. नंतर त्यानें पाण्याच्या बदला नळींत पाणी भरिलें तेव्हां त्यास असें आढळलें कीं, ३४ फूट उंचीचा पाण्याचा स्तंभ नळींत स्थिर राहिला. आतां पाण्याच्या १३.६ पट पारा जड आहे, म्हणून पाण्याच्या स्तंभाएवढें, तेवढ्याच पायावरील पाण्याच्या स्तंभाचें वजन होण्यास पाण्याचा स्तंभ पाण्याच्या स्तंभाच्या १३.६ पट उंच असला पाहिजे. आणि $१३.६ \times ३० = ४०८$ इंच ह्यानें बरोबर ३४ फूट आहेत. पाण्याच्या भारमापकांत जी पाण्याची उंची असेल, तितक्या उंचीवर साध्या बंबानें पाणी चढवितां येईल हें उघड आहे. तेव्हां हवेचा स्थितिस्थापक जोर व तिचा दाब मापावयाची जरूर पडते, तेव्हां सर्व शास्त्रीय प्रयोगांत भारमापकाचा उपयोग करितात. पर्वतांची उंची मापण्यासही याचा उपयोग करितात. साधारण व्यवहारांत असा नियम समजावा कीं, ३,००० फूट उंचीच्या खालीं दर ९९ फूट उंचीस १ इंच भारमापकांतील पारा उतरतो.

भारमापकाचा हवेचें मान समजण्यासही उपयोग करितात. कारण भारमापकांतील पाण्याच्या उंचीचें मान वातावरणाच्या वजनावर अवलंबून

* वाताकर्षक यंत्राच्या ग्राहकांत पेल्यासकट भारमापक ठेवून आणि ग्राहक रिता करून पेल्यांतील पाण्याच्या वृष्टभागावरील दाब कमी झाल्यानें जे परिणाम घडतात ते दाखवितां येतात. हवा जसजशी काढून घ्यावी त्याप्रमाणें नळींतील पारा उतरतो, आणि ग्राहकांत पुनः हवा घेतांच पारा पुनरपि चढतो. ग्राहकाच्या तोंडावर पितळेचा पत्रा बसवून त्याच्या भोकांतून कातद्याच्या तुकड्यानें व लुकणानें भारमापकाची लांब नळी बसवावी. (नंबर ५९ पहा).

असतें, ह्मणून हवेंतील सर्व फेरफारांपासून भारमापकांतही विकार घडले पाहिजेत, हें स्वाभाविकच आहे. जसें, हवा दमसर असते तेव्हां भारमापकांतील पारा उतरतो; कारण दमसर किंवा वाफयुक्त हवा कोरड्या हवेपेक्षां हलकी असते. जेव्हां हवा कोरडी असते, व आकाश निरभ्र असतें तेव्हां पारा चढतो. कोणत्याही स्थळाचें साधारण हवामान बदलण्यापूर्वी कांहीं वेळ वातावरणाच्या वजनांत फेरफार होतात. हे फेरफार केवळ इंद्रियांनीं आपणास समजत नाहींत; परंतु पुढें कसली हवा पडणार आहे याची पूर्वी सूचना देण्यास भारमापकांतील फेरफेरांचा फार उपयोग होतो.

(२९) **ध्वनीचें वहन**—ध्वनीच्या वहनास हवा असणें हें अवश्य आहे. कारण हवेंतील आंदोलनें किंवा लहरी यांच्या योगानें ध्वनि कर्णास पोचतो. वाताकर्षक यंत्राच्या तबकडीवरील ग्राहकाखालीं *घंटा ठेविली, आणि ग्राहकांतील हवा काढून घेतल्यावर कांहीं यांत्रिक योजनेनें वाजविली, तर तिचा ध्वनि ऐकूं येणार नाहीं. हा प्रयोग करितेवेळीं घंटा ग्राहकांत अंतराळीं लोंबत, किंवा कपड्याच्या तिपदरी किंवा चौपदरी घडीवर ठेवणें अवश्य आहे. नाहीं तर घंटेचें कंपन वाताकर्षक यंत्राच्या तबकडीस पोचून त्यांतून बाहेरील हवेस येऊन पोचेल, व आपणास घंटेचा ध्वनि ऐकूं येईल.

(३०) **हवेंत पदार्थाचें वजन कमी होतें.**—प्रवाहीशास्त्राचा असा सिद्धांत आहे कीं, पदार्थाचें प्रवाहीत वजन केलें म्हणजे पदार्थानें दूर केलेल्या प्रवाहीच्या वजनाइतकें त्याचें वजन कमी भरतें. हवा हा प्रवाही पदार्थ आहे, ह्मणून हवेंत वजन केलेल्या पदार्थास हा नियम लागू असला पाहिजे. कोणत्याही पदार्थानें दूर केलेल्या हवेचा आकार स्वाभाविकच पदार्थाच्या आकाराएवढा असेल हें उघड आहे; आणि १०० घनइंच हवेचें वजन सारें ३१ ग्रेन भरतें, म्हणून साधारण वजनें करितांना दूर झालेल्या हवेचें वजन हिशेबांत घेत नाहींत. परंतु एक घनफूट आकाराच्या पदार्थाचें रित्या जाग्यांत कमानीच्या तराजूनें जेवढें वजन भरेल, त्यापेक्षां सुमारें ५३६ ग्रेन वजन हवेंत कमी भरेल. जर तराजू व वजनें यांनीं त्याचें वजन काढिलें तर बाह्यांकारी इतकें कमी भरणार नाहीं. कारण खुद्द वजनें ही हवा दूर करितील व त्याचेंही वजन कांहीं कमी होईल. वजनाच्या मानानें जसें पदार्थाचें आकारमान मोठें असेल तसें हवेंत त्याचें वजन कमी भरेल.

* नंबर ६४ पहा.

उदाहरण—अच्छेर पितळेपेक्षा अच्छेरवजनाच्या बुचाच्या लांकडाचें वजन जास्त कमी भरेल. अच्छेर पिसें आणि अच्छेर शिसें या दोहोंपैकीं कोणतें अधिक जड आहे असा प्रश्न थट्टेनें कित्येक वेळां विचारितात. परंतु विचारणारास बहुधा माहीत नसतें कीं, जर दोहोंचें वजन रित्या जाग्यांत केलें, तर पिसाचें वजन शिशाहून जास्त भरेल, आणि म्हणून खरोखर पिसेंच दोहोंपैकीं अधिक जड आहेत.

जर एक मोठासा बुचाचा तुकडा शिशाच्या वजनानें धाकट्याशा तराजूच्या दांडीस* लावून हवेंत बरोबर समतोल केला असला, आणि तीच तराजू वाताकर्षकयंत्राच्या ग्राहकाखाली ठेविली आणि ग्राहकातील हवा काढून घेतली, तर बुचाचा तुकडा अधिक जड होऊन खाली जाईल.

(३१) पदार्थावर उष्णतेचे परिणाम.—ज्या अणूंचे पदार्थ बनले आहेत, त्यांमधील स्नेहाकर्षण कमी करून प्रतिसारण वाढविणें हा उष्णतेचा सर्व साधारण परिणाम आहे. जर पदार्थास उष्ण केलें तर या प्रतिसारक क्रियेचा परिणाम असा होतो कीं, पदार्थाचे अणु एकमेकांपासून दूर जातात, व तेणेंकरून पदार्थ प्रसरण पावतो.

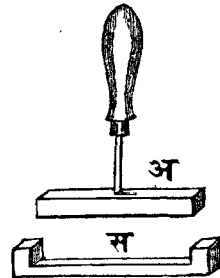
पदार्थास शीत करून त्यांतील उष्णता काढून घेतल्यास याच्या उलट परिणाम होतो. या वेळीं प्रतिसारण क्रियेचें कार्य कमजोर होऊन अणूंमधील स्नेहाकर्षणाचें कार्य जास्त जोरांनें घडतें. म्हणून पदार्थाचे अणु एकमेकांजवळ जास्त येतात, आणि त्यामुळें पदार्थ आकुंचन पावतो.

ज्याची घटना उष्णतेनें बदलत नाही, अशा एखाद्या घन पदार्थास हळु-हळू उष्ण करीत गेलें, तर त्यांत कोणकोणते फेरफार होत जातात हे पाहणें फार महत्वाचें आहे. प्रथमतः पदार्थ प्रसरण पावतो, आणि जी उष्णता त्यास मिळते, तिच्या कार्यानें त्याचे कण अधिकाधिक दूर जातात. पदार्थांतील उष्णतेचें मान कांहीं नियमित इयत्तेस पोचलें म्हणजे पदार्थाची स्थिति किंवा रूप बदलतें; ह्मणजे पदार्थ वितळतो, किंवा द्रवरूप होतो. त्याच्या कणांतील किंवा अणूंमधील स्नेहाकर्षण बहुतेक नष्ट होऊन, यत्किंचित् थोडा जोर त्यास परस्परांपासून दूर करण्यास बसत होतो. याप्रमाणें द्रवरूपांत आलेल्या पदार्थास तशीच आणखी उष्णता देत गेलें, तर तो आणखी प्रसरण पावतो; आणि अखेर त्याचें दुसरें रूपांतर होतें. द्रवरूपी

पदार्थ वायूच्या किंवा वाफेच्या रूपांत जातो. त्याच्या अणूंमध्ये स्नेहाकर्षण मुळीच राहत नाही; परंतु उलट ते एकमेकांस दूर लोटितात आणि त्यांचा परस्परांपासून दूर जाण्याचा फार कल असतो. यास्तव पदार्थावर उष्णतेचे दोन रीतींनी परिणाम घडतात, असें झटलें असतां चालेल. प्रथमतः उष्णतेनें त्यांचें प्रसरण होतें, आणि नंतर त्यांचें रूपांतर होतें.

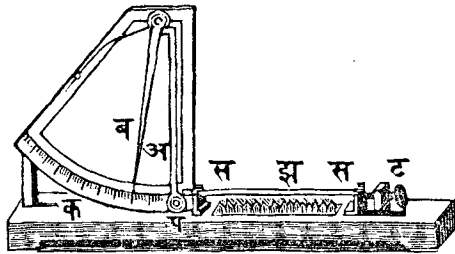
उष्णतेच्या कार्यानें पदार्थाचें प्रसरण घडतें, ही गोष्ट ज्या प्रयोगांनीं सिद्ध होते, त्यांपैकीं काहीं प्रयोगांचें मात्र वर्णन करणें येथें बस होईल.

३२. घनपदार्थाची लांबी वाढणे—ह्या गोष्टीची सत्यता पाहण्याच्या ज्या अनेक सोप्या रीती आहेत, त्यांपैकीं एक अशी आहे:—अ ही कांब* हवेच्या साधारण उष्णमानावर स खांचेंत बराबर बसत आहे. आतां या कांबीस उष्ण केलें ह्मणजे ती प्रसरण पावल्यामुळे स खांचेंत पूर्ववत् बरोबर बसत नाही. (आकृति ५ पहा).



आकृति ५.

उष्णतेच्या कार्यानें धातूची कांब हळूहळू कशी लांब होत जाते, हें दाखविण्याचें याहून अधिक चांगले यंत्रण आहे, तें खालील (आ० ६) आकृतींत दाखविलें आहे. झ ही धातूची कांब असून हिचें प्रसरण मापणें आहे. ही कांब आडवी क्षितिज पातळीशीं समांतर अशी स, स ह्या दोन आधारांवर ठेविलेली आहे. तिचें एक टोंक ट या मळसूत्रावर ठेकलें आहे, आणि दुसरें



आकृति ६.

टोंक अ ह्या उच्चालकावर दाबीत आहे. हा उच्चालक ब ह्या लांब कांठ्यास दाबीत असून त्याचें टोंक एका वर्तुलाकार क मानपट्टीच्या भागांवरून सरकत आहे. उच्चालकांची अशी जोडाजोड केली आहे कीं, लांब उच्चालकाची आंखूड भुजा थोडी चलन पावली तरी कांटा बऱ्याच भागांवरून

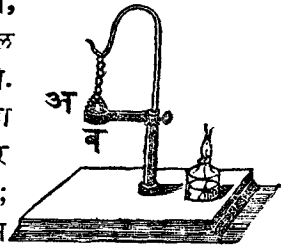
* नंबर ३१ पहा.

† नंबर ३३ पहा.

सरकतो. कांबीस आधारांवर ठेवून, तिचीं दोन्ही टोके ट मळसूत्र व अ उच्चालक यांवर टेंकून स्थिर होईपर्यंत मळसूत्र फिरवावें, आणि कांबीच्या खाली जो लांब पन्हळ आहे, त्यांत मद्यार्क घालून पेटवावा; ह्मणजे कांब उष्ण होऊन मानपटीवरून कांटा हळूहळू सरकत जाताना दृष्टीस पडेल.

३३. सर्व घनपदार्थ सारख्या मानानें प्रसरण पावत नाहीत, ही गोष्ट एका साध्या यंत्रानें सोप्या रीतीनें दाखवितां येते. असलें यंत्र* हव्या ज्या लोहारास करितां येईल. एक लोखंडाची व एक पितळेची अशा दोन सारख्या लांबी, रुंदी, जाडीच्या पट्ट्या घेऊन त्यांस खिळे मारून व फुलवून एकमेकांवर असें एकत्र बसवावें कीं, त्या दोहों धातूंची एकच संयुक्त पट्टी दिसावी. ही संयुक्त पट्टी उष्ण केली, म्हणजे पितळ आणि लोखंड हे दोन्ही धातु जर सारखे प्रसरण पावले तर संयुक्त पट्टी फक्त लांब मात्र होईल. परंतु जर दोहोंपैकीं एक पट्टी जास्त प्रसरण पावली, तर दोहोंस एकत्र करण्याकरितां जे खिळे मारिले असतील त्यांतून एक पट्टी सुटेल, किंवा ते घट्ट असल्यास संयुक्त पट्टी वक्र होईल, आणि जो धातु जास्त प्रसरण पावतो, त्याची पट्टी जास्त लांब होईल, व ती या कमानीच्या बाहेरच्या बाजूस राहील. या प्रयोगांत संयुक्त पट्टी नेहमी वक्र होते, आणि पितळेची कांब बाहेरच्या बाजूस असते; म्हणून आपणास असें अनुमान करितां येतें कीं लोखंडाहून पितळ जास्त प्रसरण पावते.

३४. पदार्थ सर्व बाजूंनीं प्रसरण पावतात.—मागील कलमांत जे प्रयोग सांगितले, त्यांवरून पदार्थाची लांबी वाढते, किंवा ज्या कांबीवर प्रयोग केले, त्यांची लांबी वाढली असें सिद्ध झालें. पदार्थ आकारानें वाढतात, म्हणजे सर्व बाजूंनीं प्रसरण पावतात, असेंही दाखवितां येतें. अ हा पितळेचा गोल थंड असतां ब या कंकणांतून खालीं उतरतो. यासच जर कढत्या पाण्यांत बुडवून किंवा मद्यार्काच्या दिव्यावर धरून उष्ण केलें तर तो कंकणांतून खालीं उतरावयाचा नाही; परंतु शीत होईपर्यंत तो कंकणावर बसून राहील. जसजसा गोल शीत होत जातो



आकृति ७.

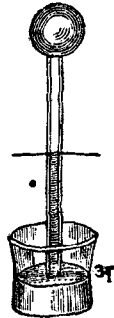
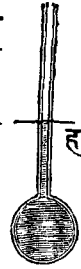
तसतसा तो आकुंचन पावतो, आणि मूळच्या आकाराएवढा झाला म्हणजे केंकरणांतून खाली पडतो. (आ० ७ पहा.)

३५. **द्रवरूपी पदार्थांचे प्रसरण**—फुगा असलेली एक लांब नळी ह *खुणेपर्यंत कोणत्या तरी द्रवांने भरून व फुग्यास उष्णता लावून, द्रवरूपी पदार्थांचे प्रसरण दाखविता येते. द्रव चढलेला पटकन दिसण्याकरिता त्यास काळ्या किंवा निळ्या शईने रंगवावे. फुग्यास उष्णता लाविली म्हणजे नळीत द्रव चढत आहे असे दिसेल, आणि फुग्याखालील दिवा काढून घेतल्यावर तो आकुंचन पावेल; आणि त्याचे उष्णमान मूळच्या इतके झाले म्हणजे पूर्वीच्या स्थानी येईल. (आ० ८ पहा.)

हेंच तत्त्व मनांत आणून उष्णतामापक यंत्रे तयार केलेली आहेत. एक लहान फुगा असलेली बारीक नळी पाण्याने भरून बंद केलेली असते. फुगा उष्ण झाला म्हणजे नळीत पारा चढतो, आणि त्यावरून उष्णमापकास कोणत्या उष्णमानाची उष्णता मिळाली आहे हें समजते.

निरनिराळ्या द्रवांनी (उदाहरणार्थ पाणी, आल्कोहोल आणि पारा) समान आकाराच्या तीन चार नळ्या भरून आणि त्यांचे फुगे ऊन पाण्याने भरलेल्या एका भांड्यात बुडवून सर्व द्रव सार-आकृति ८. खे प्रसरण पावत नाहीत हें दाखविता येते. वर लिहिलेले तीन द्रव घेतले असल्यास त्यांत आल्कोहोल सर्वांत जास्त प्रसरण पावेल; पाणी त्याहून कमी; आणि पारा सर्वांत कमी प्रसरण पावेल.

३६. **वायूंचे प्रसरण**—जर एक कागदाची साधी पिशवी हवेने भरून तिचे तोंड डिकाने बंद केलें, आणि तिला विस्तारवावर धरिलें, तर तिच्या आतील हवा इतकी प्रसरण पावेल की, ती पिशवी ताणून बहुतेक फाटेल. जर कागद हवा आत न शिरण्याजोगा असून फार जाड असणार नाही, तर पिशवी फाटण्याचा खचित संभव आहे. जीत थोडे पाणी आहे, अशी फुगा असलेली नळी † पाण्याने भरलेल्या अ पेच्यांत उलटी ठेवावी; नळीत काही उंचीपर्यंत पाणी राहावे आणि बाकी नळी व फुगा यांमध्ये थोडी हवा असावी. आतां जर आकृति ९.



फुग्यास थोडें उष्ण केलें (हात लाविला तरी बस आहे) तर त्यांतील हवा प्रसरण पावून पाण्यास खाली लोटील. वायु फार प्रसरण पावतात; आल्कोहोलाच्या पिपटीहून जास्त आणि पाण्याच्या सुमारे २० पट वायूंच्या प्रसरणाचें मान असतें. सर्व वायु सारखे प्रसरण पावतात. आक्सिजन, हवा, नैत्रोजन आणि कार्बोनिक आसिड वायु, हे सारख्या आकारमानाचे घेऊन त्यांचें सारखें उष्णमान चढविलें तर सर्वांचें आकारमान सारखें वाढतें, असें दिसून येईल.

३७. अभिविमानें—(उष्ण हवेचीं विमानें)—विवक्षित आकारमानाच्या हवेस तिचें आकारमान दुप्पट होईपर्यंत उष्ण केलें तर उष्ण केलेली हवा तेवढ्याच आकारमानाच्या मूळच्या थंड हवेच्या निम्मे वजनास भरेल, आणि ह्मणून पाण्यांत बूच बुडविलें असतां ज्याप्रमाणें तें पाण्यांतून वर येतें त्याप्रमाणें दाट व थंड हवेंतून उष्ण हवेचा वर चढण्याचा कल असतो. याच तत्वांचा उपयोग करून अभिविमानें किंवा उष्णहवेचीं विमानें करितात. पातळ कागदाचीं किंवा पातळ कपड्याचीं मोठीं गोल विमानें* करून त्यांच्या तोंडाशीं रसरशीत निखाऱ्यांची शेगडी धरून (किंवा मद्याक्रीत भिजवलेला कापसाचा बोळा पेटवून) त्यांतील हवेस उष्ण करितात. विमानांतील हवा प्रसरण पावते, आणि कांहीं बाहेर निघून जाते. यामुळें आंत राहिलेली हवा तेवढ्याच आकाराच्या बाहेरच्या हवेपेक्षां हलकी असते. विमान आणि त्यांतील उष्ण हवा या दोहोंचें मिळून वजन विमानाच्या आकारा एवढ्या बाहेरील थंड हवेच्या वजनापेक्षां कमी असलें म्हणजे विमान वर चढतें.

जड वायूंतून विवक्षित आकारमानाचा हलका वायु ज्या जोरांनं वर जातो तो जोर सारख्या आकारमानाच्या दोहों वायूंच्या वजनांच्या अंतराबरोबर असतो. म्हणून जर एक घनफूट हवेस तिचा आकार दोन घनफूट होईपर्यंत उष्ण केलें तर या दोन घनफूट उष्ण हवेस वर चढविणारा जोर, साध्या दोन घनफूट थंड हवेचें वजन (सुमारे १०७२ ग्रेन) आणि उष्ण केलेल्या दोन घनफूट हवेचें वजन, यांच्या अंतराबरोबर असेल. एक घनफूट ह्मणजे ५३६ ग्रेन हवा प्रसृत होऊन दोन घनफूट झाली असल्यानं या दोन घनफुटांचें वजन ५३६ ग्रेनच आहे. यास्तव या ठिकाणीं विमानाचा वर चढण्याचा जोर ५३६ ग्रेन (१०७२—५३६) असेल.

जोसेफ मांगोल्लिअर आणि स्टिफन मांगोल्लिअर या दोघां बंधूनीं हीं विमानें प्रथमतः उपयोगांत आणिलीं. यामुळें या विमानांस इंग्रजींत **मांगोल्लिअर** असेंही ह्मणतात. या विमानांस पेटण्याचें भय असतें. ह्मणून याचा उपयोग आलीकडे कोणी करीत नाहींत. ज्या अनेकांनीं विमानांतून अगदीं प्रथम हवेंत पर्यटनें केलीं, त्यांपैकीं **पिलाट्रे डि रोझीअर** हा अशा प्रकारचें विमान पेटल्यामुळें सन १७८५ सालीं मरण पावला. याचें विमान सुमारे ५००० फूट उंचीवर गेल्यावर पेटलें होतें.

३८. **घनपदार्थाच्या प्रसरणाचा व आंकुचनाचा जोर**—घनपदार्थाचा प्रसरण व आंकुचन पावण्याचा जोर अत्यंत असतो. वास्तविक झटलें म्हणजे हा जोर, मूळच्या आकाराएवढा पदार्थास आकार देण्याकरितां त्यास संकोचित करण्यास किंवा प्रसृत करण्यास जो जोर लागिल तितका असला पाहिजे. जर धातूच्या कांबीस उष्ण केलें आणि तिला आंकुचन पावतां येऊं नये असे तिच्या दोहों शेवटांकडे दोन आडवे ठेविले, तर ती कांब कायमची वांकून जाईल; किंवा तिच्या एका टोंकाचा तुकडा मोडून पडेल. लोखंडी कांब आंकुचन पावत असतां तिच्या आंगीं केवढा जोर असतो हें दाखविण्यासाठीं **प्रोफेसर टिंडाल** यानें एक खुबीदार यंत्र* तयार केलें आहे. एक जाड हमचौक लोखंडी कांब असून तिच्या एका टोंकास खांच आहे, व दुसऱ्या टोंकास मळसूत्राची नरमादी आहे. ही कांब भट्टींत किंवा शेगडींत लालभडक होई पर्यंत उष्ण करून, त्या स्थितींत ओतीव लोखंडी दोन डेळक्यांत ठेवावी, आणि कांबीच्या खांचेंत ओतीव लोखंडी सळईचा तुकडी बसवून दुसऱ्या टोंकाकडील मळसूत्र बेतांनं फिरवून कांबीस घट्ट बसवावें. या स्थितींत कांबीस दोहों टोंकाशीं एका टोंकास मळसूत्रांनं व दुसऱ्या टोंकास आडव्या घातलेल्या सळईनें घट्ट धरिलें आहे. कांब आंकुचित म्हणजे आंखूड झाली तर कांब तरी मोडली पाहिजे, किंवा आडवी घातलेली सळई तरी मोडली पाहिजे. कांबीवर थंड पाणी ओतिलें म्हणजे, सळईचे मोडून दोन तुकडे नेहमी होतात.

लोखंड आंकुचित होत असतां त्याच्या आंगीं जो जोर असतो त्याचा उपयोग लोहार लोक गाड्यांच्या चाकांवर धांवा बसविण्यास करितात. चाकाच्या परिघापेक्षां धांव थोडी लहान करितात, आणि तिला लालभडक

होईपर्यंत उष्ण करून प्रसरण पावली म्हणजे ती चाकाच्या परिघावर सैल बसते. बरोबर बसली झणजे धावेवर थंड पाणी ओततात. येणेकरून धाव आकुंचित होते, आणि आकुंचित होतांना चाकाच्या सर्व भागांस एकमेकांकडे ओढिते व अशा जोरांने त्यांस आंवलून धरिते. कीं, सर्व भाग जेथल्या तेथे अगदी घट्ट होतात.

उदाहरणे.

(१) दोन फूट औरस चौरस अशा पेट्यांतील सर्व हवा काढून घेतली, तर तिच्या एकंदर पृष्ठभागावर समुद्रकाठीं हवेचा दाब किती असेल?

उत्तर, २३ $\frac{३}{४}$ टन.

(२) मद्याकांचें भारमापक केलें तर त्यांतील मद्याकांच्या स्तंभाची उंची किती असेल? विवक्षित आकारमानाच्या मद्याकांचें वजन तेवढ्याच आकारमानाच्या पाण्याच्या पाऊणपट असतें; पाण्याचें भारमापक ३० इंचावर आहे.

उ०, ४५ $\frac{३}{४}$ फूट.

(३) चार इंच व्यासाच्या गोलाधातून हवा अगदीं काढून टाकिली, तर समुद्रकाठीं त्या गोलाच्या पृष्ठभागावर एकंदर हवेचा दाब किती असेल?

टीप—गोलाच्या पृष्ठभागाचें क्षेत्रफळ त्याच्या त्रिज्येच्या वर्गास $\frac{८८}{३}$ ने गुणून काढावें.

उ०, ७५४ $\frac{३}{४}$ पौंड.

(४) ६०,००० घनफूट आकारमानाच्या अभिविमानांतील हवेस इतकें उष्ण केलें कीं, त्यांतील $\frac{३}{४}$ हवा बाहेर गेली. विमान व त्यास जोडलेला लोक बसण्याचा सवा या दोहोंचें मिळून वजन १२०० पौंड आहे; तर विमानाचा वर चढण्याचा जोर किती असेल?

उ०, ५२२.८५ पौंड.

(५) ७५ घनफूट आकाराच्या दगडाचें हवेंत वजन काढलें आहे, तर रित्या जाग्यांत त्याचें वजन किती जास्त भरेल, तें काढ.

उत्तर, ५.७४ पौंड.

(६) जर एका डोंगराच्या पायथ्याशीं भारमापकाची उंची ३० इंच आहे, व त्याच डोंगराच्या माथ्यावर २७.५ इंच आहे; तर त्या डोंगराची स्थूल मानानें उंची किती आहे ती काढ?

उ०, २३७५ फूट.

(७) कर्जतेस भारमापक २९.५ इंच आहे. आणि लोणावळ्यास २७.७५ इंच आहे; तर कर्जतेच्या सपाटीहून लोणावळें सुमारें किती उंच आहे तें काढ.

उ०, १६६२.५ फूट.

(८) एका सरोवरांत पाण्याखाली २० फूट खोल भारमापक नेलें, तर यामुळें पारा किती वर चढेल तें सांग?

टीप—पाण्याच्या १३.६ पट पारा जड आहे.

उ०, १.४७ फूट.

प्रकरण ३.

यंत्रशास्त्र.

प्रेरणैकीकरण आणि प्रेरणापृथक्करण.

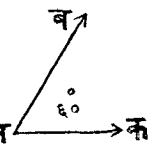
३९. यंत्रशास्त्र—प्रेरणांच्या कार्याने पदार्थास जी गति किंवा स्थिरता प्राप्त होते, त्यांविषयी ज्या शास्त्रांत विवेचन करितात, त्यास यंत्रशास्त्र असें ह्मणतात. प्रेरणेच्या योगाने पदार्थास गति मिळते; किंवा एक प्रेरणा दुसऱ्या प्रेरणांसमवेत कार्य करून पदार्थास स्थिर ठेविते. ह्मणून यंत्रशास्त्राचे स्थितिशास्त्र आणि गतिशास्त्र असे दोन विभाग केलेले आहेत.

ज्या नियमांनीं प्रेरणा परस्पर अगदीं समतोल होऊन त्यांच्या कार्याने गति उत्पन्न न होतां पदार्थ किंवा पदार्थसमूह स्थिर राहतो, त्या नियमांविषयी ज्या यंत्रशास्त्राच्या शाखेंत विवेचन करितात त्या शाखेस स्थितिशास्त्र ह्मणतात; आणि प्रेरणांचें कार्य पदार्थावर घडत असतां ते ज्या नियमांनीं चलन पावतात त्या नियमांविषयी ज्या शाखेंत विवेचन करितात त्या शाखेस गतिशास्त्र असें ह्मणतात.

४०. प्रेरणा—समतोलत्व—ज्या कारणाने गति उत्पन्न करण्याचा किंवा गति नष्ट करण्याचा पदार्थाच्या आंगीं कल येतो, त्यास प्रेरणा असें ह्मणावें. स्थिर असलेला पदार्थ चलन पावूं लागला, किंवा चलन पावणाऱ्या पदार्थाच्या गतींत कोणत्याही रीतीनें फेरफार झाला, तर त्या पदार्थावर प्रेरणेचें कार्य झालें असें आपण ह्मणतो; पदार्थास गति देण्यास किंवा गतिविशिष्ट पदार्थाच्या स्थितींत बदल करण्यास तें कारण समर्थ नसलें, परंतु त्याच्या आंगीं तसें करण्याचा कल असला, तरीही आपण प्रेरणेचें कार्य झालें असेंच म्हणतो. एका मनुष्यानें भिंतीवर जोरानें दाबिलें, तर भिंत सरकत नाही. तथापि ज्या जोरानें तो भिंतीवर दाबितो, त्या जोराच्या आंगीं भिंतीस गति देण्याचा कल असतो. म्हणून भिंतीवर घातलेल्या दाबासही वरील व्याख्येप्रमाणें आपण प्रेरणा म्हणतो. प्रेरणेइतका परिणाम ज्या वजनानें उत्पन्न होतो, त्यानें प्रेरणेचें परिमाण नेहमी मापितात. जसें कमानीच्या ताज्यास ५६ पौंडाचें वजन टांगिलें असतां तीं कमान जितकी लांब होते, तित-

कीच लांब जर एक मनुष्य तिला ओढण्यास समर्थ असला, तर त्या मनुष्याने कमानीस ५६ पौंडांची प्रेरणा लाविली आहे, असें समजावें. जेव्हां दोन प्रेरणांपैकी कोणतीही एक प्रेरणा दुसरीने घातलेल्या दाबास अतिक्रमण करूं शकत नाही, तेव्हां त्या दोन प्रेरणा परस्परांस तोलून धरितात, किंवा त्या परस्पर समतोल आहेत, असें आपण म्हणतो. उदाहरणार्थ, जर ताजव्याच्या एका पारड्यांत वजन घातलें, आणि दुसऱ्या पारड्यांत त्यास बरोबर तोलून धरण्यायोगें दुसरे वजन घातलें तर तीं वजनें एकमेकांस तोलून धरितात, किंवा तीं समतोल आहेत, असें आपण म्हणतो. यांत्रिक योजनेनें थोरल्या वजनास लहान वजनानें तोलून धरितां येतें; जसें एक लहान मुलगा मोठ्या मुलास एका जड फळीवर तोलून धरूं शकतो. मात्र फळी ज्या आधारावर आहे, तो आधारबिंदु मोठ्या मुलाच्या जास्त जवळ असला पाहिजे.

४१. प्रेरणा दर्शविणे — विवक्षित प्रेरणेनें पदार्थावर जें कार्य घडेल त्याचें बरोबर ज्ञान होण्यास किंवा तिचें जें कार्य होतें तें मापण्यास तिची दिशा, कार्य करण्याचें स्थळ किंवा बिंदु, आणि तिचें परिमाण या तीन गोष्टी आपणास समजल्या पाहिजेत. जर एका गाडीवर एका विवक्षित प्रेरणेचें कार्य होत असेल, तर तिच्यायोगानें गाडी मागे ढकलली जाईल, किंवा पुढें ओढिली जाईल, आणि एकीची दिशा दुसरीच्या विरुद्ध असेल. तसेंच ती प्रेरणा गाडीच्या कोणत्याही भागां लावितां येईल; आणि तिची दिशा आणि तिचें कार्य करण्याचें स्थळ हीं जशीं भिन्नभिन्न असतील त्याप्रमाणें तिचे परिणामही भिन्न होतील. यंत्रशास्त्रांत प्रेरणा सरळ रेषांनीं दर्शवितात. कारण या रीतीनें त्यांच्या दिशा व त्यांचीं परिमाणें सहज दर्शवितां येतात. उदाहरणार्थ असें समजू कीं, १० व १५ पौंडांच्या दोन प्रेरणा एका बिंदूस ओढीत आहेत, व त्यांच्या दिशा परस्परांशीं ६० चा कोन करीत आहेत; तर या (आकृति १०) आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें ज्यांच्या मधील व अक कोन ६० चा आहे, व ज्यांच्या लांब्या १० : १५ या प्रमाणांत आहेत अशा अब आणि अक या दोन रेषांनीं त्या प्रेरणा दर्शवितां येतील. जर अब १० इंच असली अ तर अक १५ इंच असेल; आणि जर अब १ इंच आकृति १०. असली तर त्यामधील मूळचा संबंध राखण्याकरितां अक १३ इंच असली



पाहिजे, हें उघड आहे. यांच्या टोंकाशीं जीं तिराचीं टोंकें काढिलीं आहेत, तीं असें दर्शवितात कीं, दोन्ही प्रेरणा अ पासून व आणि क या बिंदूकडे कार्य करीत आहेत, किंवा ओढीत आहेत. या दोहोंपैकीं एक जर अ कडे कार्य करीत असेल, द्वयजे अ बिंदूस पुढें न ओढतां मागे ढकलीत असेल, तर ही प्रेरणा दर्शविणाऱ्या रेषेवरील तिराचें टोंक उलटें काढावें लागेल.

जर दोन प्रेरणा एका कणावर परस्पर उलट अशा दिशांनीं कार्य करीत असतील तर त्यांस परस्पर उलट अशा चिन्हांनीं दर्शविण्याची चाल आहे. द्वयजे एकास धन समजून + या चिन्हांनें दर्शविलें तर दुसरीस ऋण समजतात, व - या चिन्हांनें दर्शवितात. जेव्हां दोन समान परंतु परस्पर उलट अशा प्रेरणा एकाद्या पदार्थावर किंवा त्याच्या एका कणावर कार्य करितात, तेव्हां त्यांच्या हातून त्यास गति देवणार नाहीं. कारण एका दिशेस कणास गति मिळण्यास जेवढें कारण आहे, तेवढेंच दुसऱ्या दिशेसही मिळण्यास आहे. यास्तव अमक्याच एका दिशेस त्यास गति मिळण्यास कांहीं कारण नाहीं. दोन समान व भिन्न चिन्हांच्या संख्यांची बेरीजही शून्य असते. म्हणून अशांचा परिणामही शून्य होईल हें उघड आहे.

उदाहरणे.

(१) जर एक टनाची प्रेरणा ३ यार्ड लांबीच्या रेषेनें दर्शविली तर १० पौंडांची प्रेरणा दर्शविण्यासाठीं किती लांबीची रेषा असावी?

उत्तर $\frac{३०}{६६}$ इंच.

(२) ५० हंड्रेडेटांची प्रेरणा ६ इंच लांबीची रेषा दर्शविते, तर १० यार्ड लांबीची रेषा केवढी प्रेरणा दर्शवील?

उत्तर १५ टन.

(३) फूट हें लांबीचें, आणि पौंड हें वजनाचें अशीं प्रमाणें असलीं, तर ५ औंस, १० ग्रेन, आणि २ टन या तीन प्रेरणा अनुक्रमें दर्शविण्यास किती लांबीच्या रेषा घ्याव्या लागतील?

उत्तर ३.७५ इंच, ०.०१७ इंच, आणि ४८८० फूट.

४२. **परिणामी किंवा फलित प्रेरणा**—दोन किंवा दोहोंहून अधिक प्रेरणा पदार्थाच्या एका कणावर कार्य करीत असतील, आणि त्यांचीं कार्यं परस्पर नष्ट न होतील, तर त्यांच्या योगानें तो कण कोणत्या तरी एका दिशेनें नियमित जोराच्या प्रेरणेनें चलन पावेल, किंवा त्याच्या आंगां तसा चलन

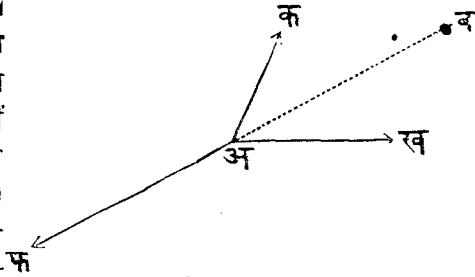
पाण्याचा कल येईल. या सर्व कार्यकरणाच्या प्रेरणांचा एकत्र परिणाम दर्शविणारी जी ही प्रेरणा तिला **फलित** किंवा **परिणामी प्रेरणा** असे म्हणतात. आणि ज्या प्रेरणांपासून ही एक प्रेरणा उत्पन्न झाली त्यास **घटकप्रेरणा** असे म्हणतात. दोन किंवा अधिक प्रेरणा एका कणावर कार्य करीत असल्यास त्यांची फलित प्रेरणा म्हणजे या प्रेरणांच्या अगदी बरोबरीचें असे कार्य करणारी एक प्रेरणा काढितां येते. म्हणून अनेक प्रेरणांच्या अगदी बरोबरीचें असे कार्य करणारी जी एक प्रेरणा त्या प्रेरणेस **परिणामी** किंवा **फलित प्रेरणा** म्हणावें. उदाहरणार्थ समजा कीं, दोन किंवा अधिक प्रेरणा एका कणावर कार्य करीत असून त्यांच्या दिशा एकाच सरळ रेषेत आहेत; आतां जर यांच्या बेरजेबरोबरीची अशी एक प्रेरणा त्याच दिशेंत त्या कणावर कार्य करील, तर तिचा परिणाम मूळच्या प्रेरणां एवढाच होईल, हें उघड आहे. तसेंच एक दोरी खोलीच्या कडीपाटास लाविलेल्या एका आंकड्यास अडकवून तिला दहा दहा पौंडांचीं दोन वजनं टांगिलीं आहेत. आतां जर १० पौंडांच्या २ वजनांच्या जागीं एकच २० पौंडांचें वजन टांगिलें, तर आंकड्यावर ताण तितकाच पडेल, हें उघड आहे. जर दोन प्रेरणा एकाच सरळ रेषेत पण परस्पर उलट अशा दिशांनीं कार्य करितील, तर त्यांच्या वजाबाकी बरोबरीची प्रेरणा ही त्यांची फलित प्रेरणा होईल, व ज्या दिशेस मोठी प्रेरणा कार्य करीत असेल त्या दिशेस ती कार्य करील, हें स्पष्ट आहे; आणि अनेक प्रेरणा परस्पर उलट दिशांनीं कार्य करीत असतील तर दोहों दिशांस कार्य करणाऱ्या प्रेरणांच्या बेरजांच्या वजाबाकीबरोबर फलित प्रेरणा असेल; आणि ज्या दिशेची बेरीज मोठी असेल त्या दिशेस ती कार्य करील.

शाळेंतील मुलें दोर ओढण्याचा जो एक खेळ खेळतात, तो खेळ याचें चांगलें उदाहरण आहे. यांत मुलें आपल्या दोन टोळ्या करितात, आणि त्या दोन टोळ्या एका जाड दोराच्या दोहों शेवटांस धरून दोहोंकडे परस्पर उलट दिशांनीं ओढितात. जमिनीवर एक आडवी रेष काढलेली असते त्या रेषेच्या आलीकडे दुसऱ्या टोळीस ओढण्यास प्रत्येक टोळी यत्न करिते.

यांत ज्या जोरांनं किंवा प्रेरणेंनं एक टोळी खुणेच्या आलीकडे दुसऱ्या टोळीस ओढील, ती प्रेरणा दोरीच्या दोहों शेवटांकडे लाविलेल्या जोरांच्या किंवा प्रेरणांच्या अंतरा बरोबर असते. वर सांगितल्याप्रमाणें ही प्रेरणा दोहोंकडील प्रेरणांची फलित प्रेरणा होय.

आतां प्रेरणा एकाच सरलरेषेत कार्य न करितां जेव्हां त्यांच्या कार्य कर-
ण्याच्या दिशा परस्परांशीं कलत्या असतात, ह्याजें त्यांच्या मध्ये कोन होतात,
तेव्हां त्यांची फलित प्रेरणा कशी काढावी याचा विचार करूं. ज्या प्रेरणा
एकाच पातळींत कार्य करितात, त्यांजविषयीं मात्र येथें विचार करूं.

अ बिंदु एक कण दर्शवीत असून त्यावर कार्य करणाऱ्या क आणि ख
या दोन प्रेरणांच्या दिशा
व त्यांचीं परिमाणें अख
आणि अक रेषा दर्शवीत
अहेत, व या प्रेरणांनीं
अ कणास गति मिळत
आहे. (आ० ११ पहा)
तर अशी एक फ प्रेरणा
आपणास काढणें आहे

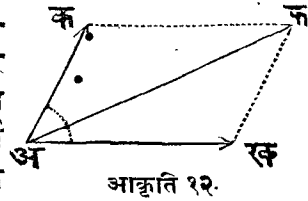


आकृति ११.

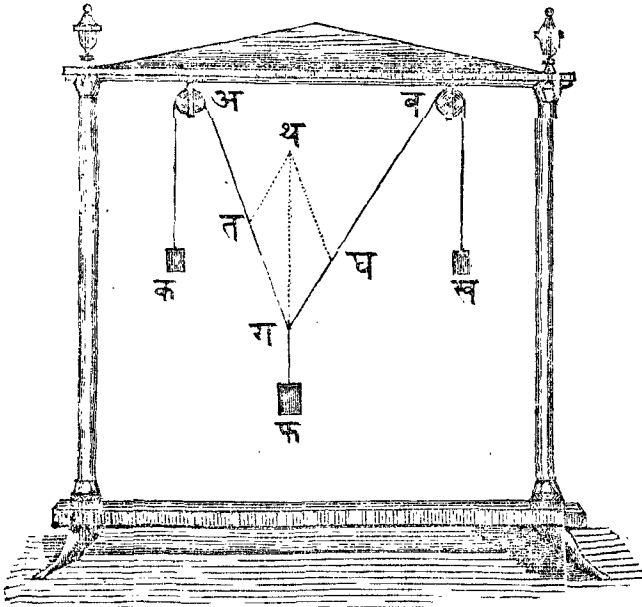
कीं, ती क आणि ख प्रेरणांस समतोल धरील, आणि अ कणास स्थिर
ठेवील. असें समजूं कीं, यांस समतोल धरणाऱ्या फ प्रेरणेची दिशा व
तिचें परिमाण अफ रेषा दर्शवीत आहे. तर क, ख आणि फ या तीन
प्रेरणा समतोल असल्या पाहिजेत, व त्यांच्या कार्यानिं पदार्थ स्थिर राहिला
पाहिजे. आतां आपण अफ रेषा बकडे वाढवून अब रेषा अफ बरोबर
केली तर हें उघड आहे कीं, जर आपण अक आणि अख प्रेरणा काढून
टाकिल्या आणि जर अब रेषा अफ च्या बरोबरीची व उलट दिशेनें कार्य
करणारी अशी प्रेरणा दर्शवीत असली, तरीही अ कण स्थिर राहील. कारण
अब आणि अफ या दोन समान व उलट प्रेरणा त्यास स्थिर ठेवितील.
परंतु अफ प्रेरणेस अक आणि अख या प्रेरणांनींही समतोल धरिलें होतें.
यास्तव अब एक प्रेरणा क आणि ख या प्रेरणां एवढाच परिणाम उत्पन्न
करिते, हें स्पष्ट झालें. म्हणून ही एक प्रेरणा क आणि ख यांची फलित प्रेरणा
झाली; व ही खालीं लिहिल्याप्रमाणें भूमितीची कृति केल्यानें काढितां येते.

अ बिंदुस्थळीं कार्य करणाऱ्या क आणि ख या प्रेरणांच्या दिशा, व
परिमाणें दर्शविण्यास अक आणि अख या रेषा घे. (आ० १२) आणि
अकफख हा समांतर भुज चौकोन काढून त्याचा अफ कर्ण काढ. तर
अफ रेषा क आणि ख या प्रेरणांच्या फलित प्रेरणेची दिशा व परिमाण

दर्शवील; आणि तिला अ बिंदूवर अफ दिशेंत कार्य करण्यास लाविलें, तर तिचा परिणाम मूळ प्रेरणां एवढाच होईल. या सिद्धांतास प्रेरणासमांतर भुजचौकोन असें म्हणतात. याची प्रतिज्ञा अशी देतां येईल. जेव्हां समांतर भुज चौकोनाच्या जवळ जवळच्या दोन बाजू एका जड कणावर कार्य करणाऱ्या दोन प्रेरणांच्या दिशा व परिमाणें दर्शवितात, तेव्हां त्या दोन बाजू ज्या ठिकाणीं मिलतात त्या बिंदूतून काढलेला त्या समांतरभुजचौकोनाचा कर्ण त्यांच्या फलित प्रेरणेची दिशा व परिमाण दर्शवितो. हा सिद्धांत खालीं लिहिलेल्या रीतीनें प्रत्यक्ष प्रयोगांनें सिद्ध करितां येतो.



आकृति १२.



आकृति १३.

अ आणि ब या दोन लहान कप्या एका चौकटीत* बसविलेल्या आहेत आणि त्यांवरून एक दोरी (आकृति १३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणें) जात

* नंबर ४ पहा.

आहे. या दोरीस ग ठिकाणी एक दुसरी दोरी गांठविली आहे. पहिल्या दोरीच्या दोहों शेवटास क आणि ख हीं दोन वजनें आणि ग ठिकाणच्या दुसऱ्या दोरीच्या शेवटास फ वजन अशीं अडकविलीं आणि दोऱ्या मोकळ्या सोडिल्यां, तर काहीं हेलकावे खाऊन वजनें स्थिर होतील. वजनें स्थिर झाल्यावर अग दोरीवर ग बिंदूपासून गत कोणतेही अंतर (समजां कीं, पोंडास इंच याप्रमाणें) क वजन दर्शविण्यास घ्यावें, आणि बग दोरीवर ग पासून गघ अंतर त्याच प्रमाणांत ख वजन दर्शविण्यास घ्यावें, आणि त आणि घ या ठिकाणीं खुणा कराव्या. ग पासून या खुणांपर्यंत गन आणि गघ अंतरें क आणि ख या वजनांच्या प्रमाणांत आहेत. आतां गघयत हा समांतर भुज चौकोन काढिला, तर त्याच्या गघ कर्णाची लांबी फ वजनाचें परिमाण* दर्शवील. फ फलित प्रेरणेस दर्शविणाऱ्या रेषेची दिशा गफ दोरीची दिशा दर्शवील.

(४२) प्रेरणैकीकरण आणि प्रेरणापृथक्करण. जर दोन प्रेरणांच्या दिशा, म्हणजे त्या परस्परांशीं जो कोन करितात तो कोन, आणि त्यांचीं परिमाणें माहीत असतील तर त्रिकोणमितीच्या आधारें त्यांची फलित प्रेरणा आपणास काढितां येते. यास प्रेरणांचें एकीकरण असें म्हणतात; तसेंच एका प्रेरणेच्या इतकाच परिणाम ज्यांचा होईल अशा दोन प्रेरणाही काढितां येतात, व यास प्रेरणेचें पृथक्करण करून तिच्या घटक प्रेरणा काढणें असें म्हणतात.

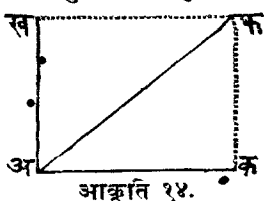
त्रिकोणमितीच्या सहाय्यावांचूनही प्रेरणैकीकरण आणि प्रेरणा पृथक्करण यांचीं बरीं उदाहरणें सोडवितां येतात.

उदाहरण १—२ पोंड आणि ४ पोंड जोराच्या दोन प्रेरणा एका पदार्थावर कार्य करीत आहेत, आणि त्यांच्या दिशा परस्परांशीं काटकोन करितात; तर त्यांची फलित प्रेरणा काढ.

* दोऱ्यांवर विवक्षित परिमाणांचीं अंतरें मोजण्याचीं साधी रीति अशी आहे. एक ताठ कागदाचा किंवा पुठ्याच्या जाड कागदाचा तुकडा घेऊन त्यावर, वजनें ज्या दोऱ्यांस टांगिलीं आहेत या दोऱ्यांच्या दिशांत रेषा काढाव्या. या रेषा काढण्याकरितां कागद दोऱ्यांच्यामार्गे त्यांस लावून धरावा, आणि कागदावर पेनसलीनें दोऱ्यांच्या खुणा करून घ्याव्या. याप्रमाणें कागदावर काढिलेल्या रेषांची लांबी क आणि ख या दोन प्रेरणांच्या प्रमाणांत घ्यावी. म्हणजे आपणास असें दिसून येईल कीं, समांतरभुज-चौकोन पुरा केल्यावर फ वजन टांगिलेली दोरी दाढविली असतां तीच त्याच्या कर्णाची दिशा दर्शविते, आणि या कर्णाची लांबी त्या वजनाचें परिमाण दर्शविते.

एकमेकांशी काटकोन करणाऱ्या अशा अक आणि अख या दोन रेषा दिलेल्या प्रेरणा दर्शविण्याजोग्या काढ, आणि अकअख हा समांतरभुज चौकोन पुरा कर. तर अफ कर्ण त्याची फलित प्रेरणा दर्शवील.

अफ = अख + खफ (यु० पु० १-४७) आणि
अक = खफ, ∴ अफ = अख + अक ∴ अफ =
 $\sqrt{\text{अख}^2 + \text{अक}^2} = \sqrt{१६ + ९} = \sqrt{२५} = ५$. या-
स्तव फलित प्रेरणा ५ पोंड झाली.

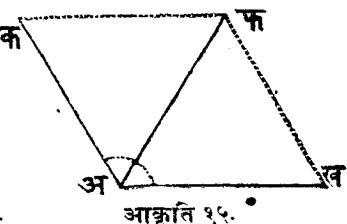


१३ व्या आकृतीत क, ख आणि फ या ठिकाणी अनुक्रमे ३, ४, आणि ५ पोंडांचा वजन टांगून याची सत्यता पाहवी. वजन स्थिर झाल्यावर एक काटकोन चौकोनाकार गंजीफ किंवा कागदाचे पान गत आणि गघ या दोन्यांजवळ धरिले, तर असे एकदम नजरेस पडेल की, दोन्या गंजिकेच्या किंवा कागदाच्या बाजूच्या आरेषी बरोबर मिळतात. कागदाच्या जवळजवळच्या बाजू परस्परांशी काटकोन करितात, म्हणून दोन्याही परस्परांशी काटकोन करितात, हे उघड आहे.

उदाहरण २—दोन समान प्रेरणा एका बिंदूवर परस्परांशी १२०° चा कोन करणाऱ्या दिशांनी कार्य करितात. तर त्यांची फलित प्रेरणा काढ.

अक आणि अख या दोन रेषा परस्परांशी १२०° चा कोन करणाऱ्या अशा समान प्रेरणा दर्शविण्यास घे. (आकृति १५) समांतरभुज चौकोन पुरा करून अफ कर्ण काढ.

∠अफक = ∠फअख (यु० पु० १-२९),
आणि कअ = कफ ∴ ∠अफक =
∠कअफ ∴ ∠फअख = ∠कअफ.
परंतु सारा कअख कोन १२०° चा आहे.
म्हणून यापैकी प्रत्येक ६०° चा असला पाहिजे;



यास्तव कअफ हा समभुज त्रिकोण झाला. यास्तव फलित प्रेरणा प्रत्येक घटकप्रेरणेबरोबर झाली.

वरील उदाहरणांत सांगितल्याप्रमाणे यावीही सत्यता प्रयोगाने पाहता येईल.

उदाहरणे.

(१) १० व १२ पोंडांच्या प्रेरणा एकमेकांशी काटकोन करणाऱ्या अशा दिशांत कार्य करीत आहेत. तर त्यांच्या फलितप्रेरणेचे परिमाण काढ. उत्तर, १५.६२.

(२) ज्यांच्या दिशा परस्पर काटकोन करितात, अशा दोन प्रेरणांचा परिणामी प्रेरणा २५ पोंड आहे, आणि तिची एक घटक प्रेरणा १० पोंड आहे. तर दुसरी घटक प्रेरणा काढ.
उ०, २२.९ पोंड.

(३) प्रत्येक $२०\sqrt{३}$ पोंडांची अशा दोन समान प्रेरणा एका बिंदूवर कार्य करितात आणि त्यांच्या दिशांमधील कोन ६०° चा आहे; तर त्यांची फलित प्रेरणा काढ. उत्तर, ६० पोंड.

(४) दोन समान प्रेरणांची फलित प्रेरणा त्यांपैकी एका प्रेरणेबरोबर आहे, तर त्यांच्या दिशांमध्ये केवढा कोन असला पाहिजे? उत्तर, १२०° .

(५) एका बिंदूवर कार्य करणाऱ्या दोन प्रेरणांची फलित प्रेरणा कधी 0 असू शकेल किंवा नाहीं. जर असू शकेल तर केव्हा?

(६) दर तासास १० मैल या वेगाने एक जहाज थेट उत्तरेकडे जात आहे; जहाजाच्या वरच्या मजल्यावरून एक चेंडू दर सेकंदास $१४\frac{३}{४}$ फूट या वेगाने थेट पूर्वेकडे फोकीला, तर या दोन गतींच्या एकीकरणाने चेंडूस कोणत्या दिशेने वास्तविक गति मिळेल?

उत्तर—याची फलित प्रेरणा जहाजाच्या दिशेशी ४५° चा कोन करिते, म्हणून चेंडूच्या चलनाची दिशा उत्तर दिशेच्या पूर्वबाजूस ४५° असेल.

(७) ड्यांच्या दिशा परस्परांशी काटकोन करितात, अशा दोन प्रेरणांची फलित प्रेरणा १२५ पोंड आहे; त्यांपैकी एक प्रेरणा ७५ पोंड आहे, तर दुसरी काय असेल? उत्तर, १०० पोंड.

(८) ६ आणि ९ या दोन प्रेरणांची फलित प्रेरणा १५ पोंड आहे. तर त्या प्रेरणा कोणत्या दिशांनी कार्य करितात?

(९) परस्परांशी काटकोन करणाऱ्या अशा दिशांनी कार्य करणाऱ्या दोन घटक प्रेरणांची परिमाणे ३ क आणि ४ क असतील, तर त्यांच्या फलित प्रेरणेचे परिमाण ५ क होईल असे दाखवा.

४३. प्रेरणा त्रिकोण—प्रेरणा त्रिकोणाचा सिद्धांत प्रेरणा समांतर-भुज चौकोनाच्या सिद्धांतावरून निघतो; आणि त्याची व्याख्या खाली लिहित्याप्रमाणे देता येते:—

एका पातळीत एका कणावर कार्य करणाऱ्या तीन प्रेरणा जर समतोल असतील, तर ह्या प्रेरणांच्या दिशांशी समांतर ज्याच्या बाजू आहेत, असा एक कोणताही त्रिकोण काढिला, तर त्याच्या बाजू ज्यांशी समांतर आहेत त्या प्रेरणांशी प्रमाणांत असतील.

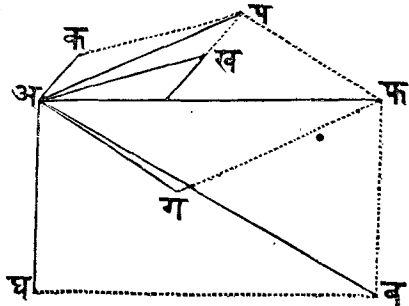
या सिद्धांताचा उलट सिद्धांतही खरा आहे व तो फार महत्वाचा आहे. त्याची व्याख्या अशी आहे.

जर तीन प्रेरणा एका कणावर एका पातळीत कार्य करीत असतील आणि जर ह्या प्रेरणांच्या दिशांशी समांतर काढलेल्या रेषांचा जो त्रिकोण होईल त्याच्या बाजू प्रेरणांशी प्रमाणांत असतील, तर त्या प्रेरणा समतोल असतील.

आणि फड ह्या बाजूंच्या लांब्या मोजल्या तर, त्या दुसऱ्या २ ताणांची किंवा दाबांची परिमाणे दर्शवितील. ह्या लांब्या भूमितीची कृति करून व स्केलाने प्रत्यक्ष मोजन काढिता येतील, किंवा त्रिकोणमितीने काढिता येतील. पाहिल्या रीतीस भूमितीची रीति असे म्हणतात.

४४. एकाच कणावर कार्य करणाऱ्या दोहोंपेक्षा अधिक प्रेरणांची फलित प्रेरणा—हा वेळपर्यंत दोन प्रेरणांची फलित प्रेरणा काढणें झाल्यास कशी काढावी, ह्या विषयी विचार केला. आतां असें समजूं कीं, दोहोंपेक्षां जास्त प्रेरणा एका कणावर एकाच पातळीत कार्य करीत आहेत, आणि त्यांची फलित प्रेरणा काढणें आहे. अशा वेळीं प्रथमतः दोन प्रेरणा घेऊन त्यांची फलित प्रेरणा काढावी, आणि त्या दोन प्रेरणांच्या जागी ही फलित प्रेरणा घ्यावी. नंतर ही फलित प्रेरणा व तिसरी प्रेरणा यांची दुसरी फलित प्रेरणा काढावी. नंतर दुसरी फलित प्रेरणा आणि चौथी प्रेरणा यांची तिसरी फलित प्रेरणा काढावी. याप्रमाणें करीत गेलें ह्मणजे शेवटली फलित प्रेरणा सर्व प्रेरणांची फलित प्रेरणा होईल.

असें समजूं कीं, ३, ७, ८, ९ पोंडांच्या चार प्रेरणा एका बिंदुस्थळीं कार्य करीत असून, त्यांच्या दिशा परस्परांशीं अनुक्रमें 30° , 85° आणि 60° चे कोन करितात, आणि त्यांची फलित प्रेरणा काढणें आहे. हा प्रश्न प्रत्यक्ष आकृति काढून किंवा त्रिकोणमितीने सोडविता येतो. या स्थळीं पूर्वीच्या रीतीनें फलित प्रेरणा कशी काढावी तें सांगितें. एका बिंदूतून अशा चार रेषा काढाव्या कीं, पहिली रेषा दुसरीशीं 30° चा, दुसरी तिसरीशीं 85° चा आणि तिसरी चौथीशीं 60° चा असे कोन करतील. नंतर या रेषांवर ३, ७, ८, ९ या संख्यांचीं परिमाणे दर्शविण्याजोगीं अनुक्रमें अंतरें कोणतें तरी स्केल धरून मोजावीं. प्रथमतः अकपख हा समांतरभुज चौकोन पुरा करून अप कर्ण काढावा, ह्मणजे अक आणि अख ह्मणजे ३ व ७ ह्या प्रेरणांची अप ही फलित प्रेरणा होईल. नंतर अपफग हा

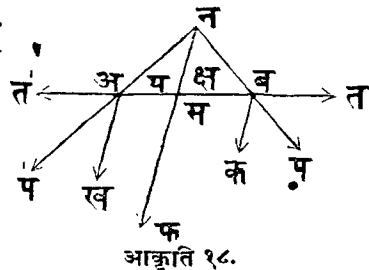


आकृति १७.

समांतरभुज चौकोन काढून अफ कर्ण काढावा. तो अप आणि अग किंवा ३, ७, ८ ह्या प्रेरणांची फलित प्रेरणा होईल. नंतर शेवटीं अ-फ आणि अग या रेषांनीं दर्शविणाऱ्या प्रेरणांचें असेंच एकीकरण करून अब ही त्यांची फलित प्रेरणा काढावी. म्हणजे अब रेषा दिलेल्या चार प्रेरणांच्या फलित प्रेरणेचें परिमाण आणि दिशा दर्शवील.

२४. समांतर प्रेरणा—जेव्हां एका पदार्थावर दोन प्रेरणा एकत्र पातळीत कार्य करितात, तेव्हां त्यांच्या दिशा परस्परार्शीं कोन करण्याजोग्या असतील, किंवा परस्पर समांतर असतील. आतां पदार्थावर कार्य करणाऱ्या दोन समांतर प्रेरणांविषयीं विचार करूं. प्रेरणा समांतरभुज चौकोनाच्या सिद्धांतावरून समांतर प्रेरणांच्या समतोलत्वास ज्या गोष्टी अवश्य लागतात, त्या काढितां येतात. क आणि ख ह्या दोन समांतर प्रेरणा एका दृढ *पदार्थावर अ आणि ब ह्या बिंदुस्थळीं कार्य करीत आहेत, व त्या एक दिग्गामी आहेत; म्हणजे त्या एकाच दिशेकडे म्हणजे बाजूकडे पदार्थावर कार्य करीत आहेत. अ, ब बिंदु सांध आणि अ व ब ठिकाणीं त व त या दोन समान व उलट अशा प्रेरणा लाव. म्हणजे यापासून पदार्थावर काहीं परिणाम घडावयाचा नाही.

क आणि त यांची परिणामी प्रेरणा प, आणि ख आणि त ह्यांची परिणामी प्रेरणा फ काढ. प आणि फ ह्या फलित प्रेरणांच्या दिशा दर्शविणाऱ्या रेषा न बिंदुस्थळीं मिळेलपर्यंत वाढाव. असें समजूं कीं हा बिंदु



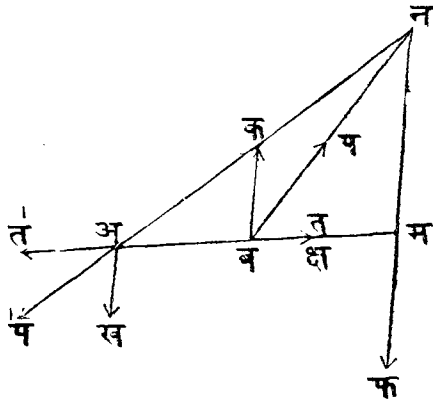
* ज्या पदार्थाचे कण परस्पर नियत अंतरावर नित्य असतात, त्या पदार्थास दृढ पदार्थ हें नांव देतात. भाषांतरकार.

† अख रेषा बक र्शी समांतर आहे, म्हणून $\angle खअब + \angle कबअ = २$ काटकोन. (यु० पु० १ सि. २९); यास्तव $\angle पअब$ आणि $\angle पबअ$ या दोन कोनांची बेरीज दोन काटकोनांहून जास्त होईल- म्हणून $\angle पअत$ आणि $\angle पबत$ यांची किंवा यांच्या बेरीजेचे $\angle नअब$ आणि $\angle नबअ$ यांची बेरीज दोन काटकोनांहून कमी होईल. याकरितां १२ व्या प्रत्यक्ष प्रमाणाप्रमाणें पअ आणि पब रेषा वाढविल्या तर न बिंदूत मिळतील. भाषांतरकार.

अ, व बिंदूशीं दृढतर जोडलेला आहे; व या बिंदुस्थळीं *प आणि प प्रेरणा कार्य करित आहेत.* नंतर न ठिकाणी प आणि प या प्रेरणांचे त्यांच्या मूळच्या क, त आणि ख, ते या घटक प्रेरणांत पृथक्करण कर.

या घटकांपैकीं त आणि ते हे घटक समान व उलट दिशांनीं कार्य करणारे असल्यामुळे परस्पर समतोल असतील; म्हणून त्यांस काढून टाकावे. म्हणजे न ठिकाणीं क + ख च्या बरोबरीची एक प्रेरणा मूळ प्रेरणांशीं समांतर दिशेत कार्य करणारी राहिल. ही प्रेरणा मूळच्या क आणि ख या समांतर प्रेरणांची फलित प्रेरणा आहे, व ती मूळ प्रेरणांस समांतरही आहे. या फलित प्रेरणेची दिशा, अब रेषेस ज्या म बिंदूत छेदील तो बिंदुमात्र काढणें राहिला. अम = प आणि बम = क्ष असतील तर असें सिद्ध करितां येईल कीं, कक्ष = खप.

जर प्रेरणा भिन्न दिग्गामी म्हणजे परस्पर उलट दिशांनीं (आ० १९) बाजूवरील आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें कार्य करणाऱ्या असतील, तर याचप्रमाणें कृति व सिद्धता करून असें दाखवितां येईल कीं, क आणि ख यांची फलित प्रेरणा त्यांच्या (क-ख) या वजाबाकीबरोबर असते, आणि तिचा कार्य करण्याचा बिंदु अब रेषा वाढविली असतां तिच्या वाढविलेल्या भागांत आणि मोठ्या प्रेरणेच्या बाहेर अस-



आकृति १९.

* जेव्हां एखादी प्रेरणा स्थिर पदार्थावर कार्य करिते, तेव्हां तिच्या कार्यदर्शक रेषेत पदार्थाशीं दृढतर जोडलेल्या अशा कोणत्याही बिंदुस्थळीं ती प्रेरणा लाविली, तरी तिच्या कार्यांत फेर पडत नाही. आपल्या कार्यदर्शक रेषेत प्रेरणें एका बिंदूपासून त्याशीं दृढतर जोडलेल्या अशा दुसऱ्या कोणत्याही बिंदुस्थळीं संचार केला, तरी परिणाम तेवढाच होतो. म्हणजे प्रेरणा कार्यदर्शकरेषेत कोठेही संचार करू शकते. या तत्वास प्रेरणासंचरत्व म्हणतात; व याच तत्वावरून प व प प्रेरणा न ठिकाणीं नेलेल्या आहेत. भाषांतरकार.

तो; व फलित प्रेरणेची दिशा मोठ्या प्रेरणेशीं तुल्य असते. **बम** आणि **अम** रेषांच्या लांब्या **क्ष** आणि **य** पुढील समीकरणावरून काढितां येतात: **कक्ष=खय***.

जेव्हां दोहोंपेक्षां जास्त समांतर प्रेरणा पदार्थावर कार्य करीत असतील, तेव्हां प्रथमतः दोन प्रेरणांचें वर लिहिल्याप्रमाणें एकीकरण करून त्यांची फलित प्रेरणा काढावी, आणि तिचा कार्य करण्याचा बिंदु काढून ही फलित प्रेरणा आणि तिसरी प्रेरणा यांचें एकीकरण करावें. याप्रमाणें करीत जावें. अखेरच्या फलित प्रेरणेचें परिमाण सर्व समांतर प्रेरणांच्या साध्या † बेरजेबरोबर असेल. मात्र या बेरजेत प्रेरणा धन किंवा ऋण असतील त्याप्रमाणें त्यांच्यामागे + किंवा - हीं चिन्हां ‡ त्याहावीं.

युग्म—जेव्हां एकाच पातळीत दोन बिंदु स्थळीं कार्य करणाऱ्या दोन समांतर प्रेरणा परस्पर समान असून उलट कोणा दिशांनीं कार्य करणाऱ्या असतात, तेव्हां त्यांची फलित प्रेरणा शून्य होईल. अशा प्रेरणांच्या आंगां ज्या पातळीत त्या कार्य करीत असतील त्या पातळीत पदार्थास गरगर फिरविण्याचा कल असेल, हें उघड आहे. जसें **क** आणि **ख** ह्या प्रेरणांचा कल पदार्थास **अबक** किंवा **बअख** या दिशेनें फिरविण्याचा आहे. (आ० २० पहा) अशा प्रेरणांस **युग्म** असें म्हणतात.

* हें खालीं लिहिल्याप्रमाणें सिद्ध करितां येतें. **बनम** त्रिकोणाच्या तिन्ही बाजू **क**, **त**, **प** या प्रेरणांच्या दिशांशीं समांतर आहेत; म्हणून प्रेरणा त्रिकोणाच्या सिद्धांताप्रमाणें:—

$$\frac{\text{क}}{\text{त}} = \frac{\text{नम}}{\text{बम}};$$

तसेंच **अनम** त्रिकोणाच्या तिन्ही बाजू **ख**, **त**, **प** या प्रेरणांच्या दिशांशीं समांतर आहेत. म्हणून

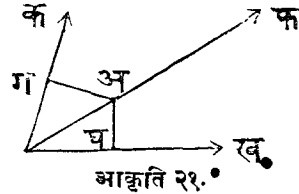
$$\frac{\text{ख}}{\text{त}} = \frac{\text{नम}}{\text{अम}}; \quad \frac{\text{क}}{\text{ख}} = \frac{\text{अम}}{\text{बम}} = \frac{\text{य}}{\text{क्ष}}; \quad \text{कक्ष} = \text{खय}.$$

† धन व ऋण संख्यांची जी बेरीज तिला साथी बेरीज असें म्हटलें आहे.

भाषांतरकार.

‡ कोणत्याही एका दिशेस कार्य करणाऱ्या प्रेरणा + चिन्हांनें दर्शविल्या तर तिच्या उलट दिशेस कार्य करणाऱ्या प्रेरणा - या चिन्हांनें दर्शवितात. भाषांतरकार.

४६. प्रेरणेचे भ्रामकत्व*—विवक्षित प्रेरणेचे विवक्षित बिंदूसंबंधी भ्रामकत्व ती प्रेरणा आणि तिच्या दिशेवर त्या बिंदूपासून काढलेला लंब यांच्या गुणाकाराबरोबर असते. जसे या आकृतीत (आ. २१ पहा) क प्रेरणेचे अ बिंदूसंबंधी भ्रामकत्व $क \times अग$ आहे; आणि तसेच ख चे अ बिंदूसमोवतालचे भ्रामकत्व $ख \times अघ$ आहे. कारण अग आणि अघ हे अ बिंदूपासून क आणि ख यांच्या दिशांवर अनुक्रमे काढलेले लंब आहेत. यंत्रशास्त्रांत भ्रामकत्वाच्या साम्यतेचा एक फार महत्वाचा सिद्धांत आहे, त्याची व्याख्या अशी करितात :—



जेव्हां दोन प्रेरणा पदार्थांवर कार्य करितात तेव्हां त्यांच्या फलित प्रेरणेतल कोणत्याही बिंदूसंबंधी त्यांची भ्रामकत्वे समान व विरुद्ध असतात. २१ व्या आकृतीत क आणि ख या प्रेरणांची फ ही फलित प्रेरणा आहे, आणि अ हा या फलित प्रेरणेच्या दिशेतील बिंदू आहे. तर अ संबंधी क चे भ्रामकत्व अ संबंधी ख च्या भ्रामकत्वाबरोबरी असते. म्हणजे $क \times अग = ख \times अघ$. हा सिद्धांत ज्या प्रेरणांच्या दिशा एका बिंदूत मिळतात त्यांस व ज्या परस्पर समांतर असतात त्यांस सारखा लागू आहे.

* जो पदार्थ एका विवक्षित स्थिर बिंदूशी जखडलेला आहे, म्हणजे त्यापासून त्याचे स्थलांतर करिता येत नाही, व त्या बिंदूसमोवती फिरण्यास जो मोकळा आहे, अशा पदार्थावर प्रेरणा कार्य करूं लागली तर तिच्या कार्याने पदार्थ त्या स्थिर बिंदूसमोवती फिरेल, एवढा मात्र परिणाम होईल. पाणी काढण्याचा राहाट, उंसाचा घाणा, तेलाचा घाणा, आणि राहाटगाड्यास बेल जोडण्याचा उभा खांब ही या भ्रामक गतीची उदाहरणे होत. ही भ्रामक गति उजवीकडून डावीकडे किंवा डावीकडून उजवीकडे असेल. म्हणून पदार्थाचे एखाद्या स्थिर बिंदू समोवती भ्रमण करविण्याची जी प्रेरणेची शक्ति तिला त्या प्रेरणेचे त्या बिंदूसंबंधी भ्रामकत्व असे म्हणतात. हे भ्रामकत्व प्रेरणा, व तिच्या दिशेवर स्थिर बिंदूपासून काढलेला लंब यांच्या गुणाकाराने मापितात. या गुणाकारासच भ्रामकत्व असें वर म्हटले आहे. उजवीकडून डावीकडे भ्रमण होत असले, व या भ्रामकत्वास धन कल्पिले, तर याच्या उलट म्हणजे डावीकडून उजवीकडे भ्रमण उत्पन्न करणाऱ्या भ्रामकत्वास ऋण भ्रामकत्व असें झणतात. माघांतरकार.

† क प्रेरणेचा अ समोवती उजवीकडून डावीकडे भ्रमण करविण्याचा जितका कल आहे तितकाच ख चा अ समोवती डावीकडून उजवीकडे भ्रमण करविण्याचा कल आहे. भाषांतरकार.

उदाहरण.

(१) एक दिग्गामी दोन समांतर प्रेरणा अनुक्रमें २०० आणि १०० पोंडांच्या आहेत, आणि त्यांचे कार्य करण्याचे बिंदु परस्परांपासून ६ फूट अंतरावर आहेत. तर त्यांची फलित प्रेरणा कोणत्या स्थळीं कार्य करील तें काढ.

उत्तर, मोठ्या प्रेरणेपासून २ फूट अंतरावर.

(२) दोन भिन्न दिग्गामी प्रेरणा ३०० पोंड आणि १२० पोंडांच्या अनुक्रमें आहेत, व त्यांचे कार्य करण्याचे बिंदु परस्पर ४ फूट अंतरावर आहेत. तर त्यांच्या फलित प्रेरणेचें परिमाण आणि स्थान काढ.

उत्तर, { फलित प्रेरणा = १८० पोंड.
स्थान मोठ्या प्रेरणेच्या बाहेर २ $\frac{२}{३}$ फूट.

(३) ७ फूट लांबीच्या काठीवरून अ आणि ब हे दोन मनुष्य ५६ शेरांचें ओझे नेत आहेत. अ च्या खांद्यावर सारा १६ शेरांचा भार पडत आहे; तर काठीवर वजन कोठें टांगिलें असेल ?

उत्तर, अ पासून ५ फुटांवर.

(४) ६ फूट लांबीच्या काठीवर निच्या दोहों टोंकांपासून अनुक्रमें १ फूट आणि २ फूट अंतरावर २० आणि ४० शेरांचीं दोन वजनें टांगिलीं आहेत; व ती काठी दोघे मनुष्य खांद्यावरून नेत आहेत. दोघांवरही भार पडूं नये असें मनांत आहे, तर काठीस कोठें आधार दिला असतां हें सिद्धीस जाईल ?

उत्तर, काठीच्या मध्यबिंदूवर.

(५) १००० पोंडांच्या प्रेरणेचें पृथक्करण करून या प्रेरणेपासून ४ आणि २४ या अंतरावर कार्य करणाऱ्या दोन भिन्न दिग्गामी समांतर प्रेरणा काढ.

उत्तर, १२०० आणि २०० पोंडांच्या.

(६) १००० पोंडांच्या प्रेरणेचें पृथक्करण करून निजपासून ४ आणि २४ या अंतरावर कार्य करणाऱ्या दोन एकदिग्गामी समांतर प्रेरणा काढ.

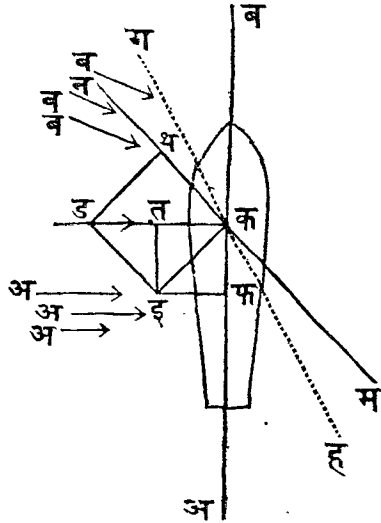
उ० ८५ $\frac{१३}{१०}$ आणि १४२ $\frac{३}{१०}$ पोंड.

(७) काठीस टांगलेलें वजन सारख्या उंचीचे दोन मनुष्य खांद्यावरून नेत आहेत. एकावर दुसऱ्याच्या दुष्पट भार पडावा असें इष्ट असेल, तर तें वजन काठीवर कोठें टांगावें ?

उत्तर,—पहिल्या मनुष्यापासून काठीच्या $\frac{१}{३}$ भागावर.

४७. शिडानें जहाज चालविणें—वारा ज्या दिशेनें वाहत आहे, त्याच्या बहुतेक उलट अशा दिशेनें जहाजास शिडानें चालवितां येतें, हें आपणास माहीत आहे. हें प्रेरणा पृथक्करणाचें फार चांगलें उदाहरण आहे.

असें समजूं कीं, जहाज अब दिशेन चालवावयाचें आहे, व ह्या दिशे-
शीं काटकोनाकार दिशेन म्हणजे (आकृति २२ पहा) आकृतीत अ, अ, अ
या तिराच्या टोंकांनीं दर्शविल्याप्रमाणें वारा वाहत आहे. तर कोणत्या
दिशेन शीड लावावें याचा वि-
चार प्रथमतः केला पाहिजे.
जर शीड अब रेषा ज्या पातळीत
आहे, त्या पातळीत उभें लावि-
लें, तर जहाजास इच्छित्या-
प्रमाणें अब दिशेन पुढें नेण्यास
वाऱ्याचा कांहीं उपयोग होणार
नाहीं. अब शीं काटकोनाकार
लाविलें, तर वारा शिडाच्या
पृष्ठभागास चाटून जाईल,
आणि त्यापासून जहाज अब
दिशेन पुढें चालणार नाहीं.



આકૃતિ ૨૨.

परंतु जर या दोन दिशां-
मध्ये **मन** रेषा ज्या पातळीत
आहे, त्या पातळीत शीड उभे
केले, तर असें दिसून येईल कीं, वाऱ्याच्या जोराचें पृथक्करण केल्यास **अब**
दिशें जहाज पुढें चालविण्या जोगी कांहीं शक्ति आपणास मिळेल. सम-
जा कीं, **डॅक** रेषा वाऱ्याच्या जोराचें परिमाण, व त्याची दिशा दर्शविते.
या प्रेरणेचें पृथक्करण करून **इक** आणि **थक** या दोन प्रेरणा काढूं. त्यां-
पैकीं **इक** प्रेरणा शिडावर त्याच्या पातळीशीं लंब अशा दिशेनें कार्य करील,
आणि दुसरी **थक** प्रेरणा शिडास चाटून बाजूनें जात असल्यानें तिचा
परिणाम शिडावर कांहीं होणार नाही. शिडावर फक्त **इक** या घटकाचें
मात्र कार्य घडेल. या घटकाचें पुनः पृथक्करण करून दोन घटक काढणें
जरूर आहे. कारण **अब** दिशें जहाजास नेण्याचा जोर इच्या आंगां
किती आहे हें काढणें आहे. **अब** दिशेंत कार्य करणारी इत किंवा **फक**
प्रेरणा, आणि या दिशेशीं लंब अशा दिशेंत कार्य करणारी **इफ** प्रेरणा या
दोन घटक प्रेरणा **इक** प्रेरणेचें पृथक्करण करून काढूं. तर जहाजास
इच्छित्या दिशेस पुढें चालविणारी प्रेरणा **फरू** रेषा दर्शविते, आणि दुसरी

घटक प्रेरणा इफ या दिशेशीं लंब अशा दिशेंत जहाजास नेईल. परंतु जहाजास या दिशेस नेण्यास त्याच्या आकाराचा जो प्रतिबंध होतो, त्याने या प्रेरणेचे बहुतेक कार्य नष्ट होतें. जहाजाची लांबट बाजू व त्याचा कणा यांपासून त्यास आडवी गति मिळण्यास मोठा प्रतिबंध होतो, आणि जहाजाच्या नाळेची तीक्ष्ण धार आणि त्याचा निमुळता आकार जहाजाच्या लंबोत्तर अब दिशेंत त्यास ढकलण्यास साधारणपणें सहाय्य करितात.

जर वारा जहाजाच्या मार्ग क्रमण्याच्या दिशेस याहून जास्त विरुद्ध म्हणजे उदाहरणार्थ ब, ब, ब, दिशेंत वाहात असला, तर शीड मन ठिकाणाहून काढून अधिक कलतें असें गह दिशेंत उभें केलें पाहिजे. असें सिद्ध करितां येतें कीं, वाऱ्याची दिशा आणि जहाजाची मार्ग क्रमणाची दिशा या दोहों दिशांमधील कोनास दुभागणाऱ्या दिशेंत शीड उभारलें म्हणजे शिडाच्या दुसऱ्या कोणत्याही स्थितीपेक्षां जहाजावर कार्य करणारी जास्त जोराची घटकप्रेरणा प्राप्त होते; म्हणजे विद्यमान वाऱ्यानें जहाज फार जोरानें चालतें.

उदाहरणें.

(१) क्षितिजपातळीशीं समांतर अशी एक तुळी उभ्या भितीतून पुढें आली आहे, आणि पुढें आलेल्या टोंकाखालीं भितीस टेंकून एक कलता तीर दिला आहे. तो तुळीशीं ४५ चा कोन करितो. तुळीच्या याच टोंकावर जर ५० पौंडांचें वजन टांगिलें तर तिरावर किती दाब पडेल? ७०, ७०.७ पौंड.

• (२) अक्र हा एक गुरुत्वशून्य असा मानलेला दांडा क ठिकाणीं विजागरीनें अडकविलेला आहे; आणि त्याच्या अ टोंकावर एक हंड्रेडवेटाचें वजन टांगिलेलें त्यानें तोलून धरिलें आहे, व त्या वजनास क्षितिज पातळीशीं समांतर अशा अब दांड्यानें त्या स्थितीत धरिलें आहे. जर बअक्र कोन ४५ चा असेल तर अब दांड्यावर ताण किती पडेल, आणि अक्र वर दाब किती असेल?

उत्तर, अब वर ताण ११२ पौंड आणि अक्र वर दाब १५८.३ पौंड.

(३) दोन समांतर प्रेरणा एका दृढ कांबीवर परस्परांपासून ६ इंच अंतरावर परस्पर उलट अशा दिशांनीं कार्य करीत आहेत. त्यांची परिमाणें ३ : ५ या प्रमाणांत आहेत, तर त्यास समतोल ठेवण्यास जी तिसरी प्रेरणा लाविली पाहिजे तिचें परिमाण आणि कार्य करण्याचें स्थान काढ.

उत्तर, थोरल्या प्रेरणेपासून ९ इंचावर आणि धाकट्या प्रेरणेच्या दिशेशीं तुल्य अशा दिशेंत कार्य करणारी २ प्रेरणा.

(४) गुरुत्वशून्य अशी मानलेली ४ फूट लांबीची एक कांब आहे, आणि तिच्या एक शेवटास १० पौंडांचे व दुसऱ्या शेवटास ३० पौंडांचे अशी वजनं टांगिली आहेत. तर आणखी ३० पौंडांचे वजन कोठे टांगिले असता ती कांब आपल्या मध्य बिंदूवर सम-तोल राहील?

उत्तर, मध्य बिंदूपासून धाकड्या वजनाकडे १६ इंचावर.

(५) एका उभ्या भितीत एकमेकांपासून ४ इंच अंतरावर क्षितिजपातळीशीं समांतर अशा रेषेत क आणि ख या दोन खुंट्या आहेत. गुरुत्वशून्य अशी मानलेली एक कांब क खालून आणि ख वरून गेली आहे, आणि तिला ख च्या पलीकडे ७ इंचावर ग बिंदूस्थळी २० पौंडांचे वजन लाविले आहे. जेव्हा कांब क्षितिज पातळीशीं समांतर अशा स्थितीत स्थिर असते, तेव्हा क आणि ख या खुंट्यांवर किती दाब पडेल?

उत्तर, क वर ३५ पौंड, आणि ख वर ५५ पौंड.

(६) ६, ८, १४ या संख्या ज्या प्रेरणा दर्शवितात, त्या एका कणावर कार्य करून त्यास स्थिर ठेवू शकतील किंवा नाही? जर स्थिर ठेवू शकणार नाहीत, तर त्यांचे कारण काय?

(७) १६ व्या आकृतीत दाखविल्या सारख्या यारीत अब ताण क्षितिज पातळीशीं समांतर आहे. वजन सहन करणारा अक्र खांब लंबरेपेशीं ४५ चा कोन करण्याजोगा कलता आहे. तर १ टनाचे वजन उचलले तर ताणावर आणि खांबावर किती भार पडेल ते काढ.

उत्तर $\left\{ \begin{array}{l} \text{ताणावर भार} = १ \text{ टन.} \\ \text{खांबावर} = \sqrt{२} \text{ टन.} \end{array} \right.$

प्रकरण ४.

गुरुत्व.

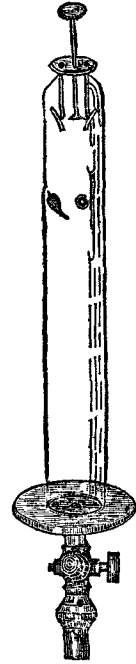
४८. गुरुत्व किंवा पृथ्वीचें आकर्षण—ज्या शक्तीमुळे सर्व पदार्थांचा कल पृथ्वीच्या पृष्ठभागाकडे पडण्याचा आहे, त्या शक्तीस पृथ्वीचें आकर्षण किंवा गुरुत्व असें म्हणतात. या कलामुळे ज्या पदार्थास आधार असतो, त्याच्या आंगां दाब आणि वजन उत्पन्न होतात. सर्व पदार्थ पृथ्वीकडे आकर्षिले जातात, म्हणजे त्यांचा पृथ्वीकडे जाण्याचा कल असतो, या नियमास कांहीं पदार्थ बाह्यात्कारी अपवाद आहेत असें वाटतें. उदाहरणार्थ हैद्रोजन, खनिज कोळशांचा वायु, आणि धूर यांच्या आंगां पृथ्वीकडे जाण्याचा कल नसून पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासून दूर जाण्याचा कल असतो. हे पदार्थ वातावरणापेक्षां हलके असल्यामुळे पाण्यांतून बूच जसें वर चढतें, तसे हे वातावरणांतून वर चढतात; आणि ज्याप्रमाणें पाणी काढून घेतलें असतां बूच जमिनीवर खाली पडेल, त्याप्रमाणें आधार देणारें वातावरण काढून घेतल्यास हैद्रोजन, खनिजकोळशांचा वायु आणि धूर हेही पदार्थ खाली पडतील.

वातावरण नसतें तर लहान मोठे व कशाही आकाराचे पदार्थ असले, तरी ते पृथ्वीवर सारख्याच रीतीनें पडले असते. हलक्या पदार्थांचा पृष्ठभाग मोठा असल्यामुळे त्यांस वातावरणाचा पुष्कळ आधार मिळतो. यास्तव वातावरणाच्या प्रतिबंधामुळे ते पृथ्वीवर सावकाश पडतात. जसें, एक रुपया आणि सोन्याच्या वर्खाचा किंवा पातळ कागदाचा तुकडा यांस एकाच उंचीवरून खाली टाकिलें तर ते सारख्या काळांत जमिनीवर येऊन पोचणार नाहींत. वर्ख किंवा कागद यांच्या पुष्कळ पूर्वी रुपया येऊन पोचेल. तथापि सोन्याचा वर्ख रुपया इतका जलद खाली पडतो, असें दाखविण्याजोगी प्रयोगाची योजना करितां येते. एका कुपींत रुपया आणि सोन्याच्या वर्खाचा तुकडा यांस घालून कुपी बुचानें बंद करावी, आणि तिला दोरी बांधून ती दोरी खुंदीवरून किंवा खोलीच्या कडीपाटास लाविलेल्या कर्पावरून नेऊन कुपी टांगावी. आतां जर कर्पावरून सोडून कुपीस खाली पडूं दिलें, तर कुपी आणि रुपया जितके जलदीनें खाली येतील, तितक्याच जलदीनें वर्खही खाली येईल. कुपी टेबलावर पडून फुटूं नये म्हणून टेबलाजवळ कुपी येतांच तिची गति खुंटवितां यावी, या करितां दोरीनें कुपी खाली सोडिली पाहिजे. कुपींत पातळ वर्खास यत्किचित् चलन मिळालेलें दिसत

नाहीं; परंतु सोन्याचा घन गोळा जसा खालीं येतो त्याप्रमाणेंच वर्खही खालीं येतो असें दिसेल. रुपयाच्या एका बाजूवर सोन्याच्या किंवा रुप्याच्या वर्खाचा तुकडा दोहोंमध्ये हवा न राही, असा घट्ट बसवूनही याच तऱ्हेचा प्रयोग करितां येतो. या दोहोंस जर अशा स्थितींत टाकिलें तर दोन्ही एकदांच खालीं जमिनीवर किंवा टेबलावर पडतात. सोन्याच्या वर्खाचा तुकडा रुपयावर जसा बरोबर बसला असेल, त्या मानानें हा प्रयोग चांगला साधतो. निर्यातस्थळीं एकाच उंचीवरून रुपया व पीस यांस खालीं पडूं दिलें तर दोन्ही एकदांच जमिनीवर येऊन पोंचतात. हा प्रयोग एक उंच कांचेचा* ग्राहक घेऊन उत्तम रीतीनें करितां येतो. या ग्राहकाच्या माथ्यावर एक पितळेचें झांकण† असतें. त्या झांकणांत अशी योजना केलेली असते कीं, ग्राहकांतील हवा वाताकर्षक यंत्रांनं काढून घेतल्यावर रुपया आणि पीस यांस एकदम खालीं पाडितां येतें. बाजूच्या आकृतींत (आकृ० २३ पहा) हा प्रयोग करण्याची रीति दाखविली आहे.

पदार्थावर जें पृथ्वीचें आकर्षण घडतें त्या आकर्षणा-मुळें पदार्थ पृथ्वीवर पडतात. परंतु पृथ्वीच केवळ पदार्थास आकर्षण करिते, असें नसून द्रव्याचे पिंड नेहमी एकमेकांस आकर्षितात. फार सूक्ष्म अशा पिळाच्या तराजूनें (टार्व्हिन ब्यालन्स) क्याव्हेंडिश यानें प्रयोग करून असें सिद्ध केलें आहे कीं, भिन्नभिन्न पदार्थ एकमेकांस परस्पर आकर्षितात. जसें शिशाचा गोळा दगडास किंवा लोखंडांस आकर्षितो, आणि एखादी गोटी हातांतून सोडिलीं ह्मणजे पृथ्वीवर पडते, तेव्हां जसें पृथ्वीचें आकर्षण गोटीवर घडतें त्याचप्रमाणें गोटीचें आकर्षण पृथ्वीवर घडतें.

४९. सर्वसाधारण गुरुत्वाकर्षण—ज्या सर्वसाधारण गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमावर या विश्वाची रचना अवलंबून आहे, तो नियम सर आयझाक न्युटन यानें शोधून काढिला. आकाशांतील सर्व पदार्थ परस्परांस आकर्षितात



आकृति २३.

आणि त्यांच्या आकर्षणाचा जोर त्यांच्या प्रकृत्यंशांच्या सम प्रमाणांत आणि त्यांमधील परस्पर अंतराच्या वर्गाच्या व्यस्त प्रमाणांत असतो. या नियमाचा अर्थ स्पष्ट करण्याकरितां असे समजूं कीं, **म** आणि **न** असे दोन पदार्थ आहेत; यांचे प्रकृत्यंश अनुक्रमे १०० आणि १० या संख्या दर्शवित असून या दोहोंमध्ये अंतर एक मैल आहे. या दोहोंमधील आकर्षण $\frac{\text{प्रकृत्यंश}}{\text{अंतर}}$ हा अपूर्णाक दर्शवितो. **न** वर **म** चें आकर्षण १०० संख्या दर्शविते आणि **म** वर **न** चें आकर्षण १० ही संख्या दर्शविते. यामुळे त्यांचे परस्परांवर आकर्षण घडूं लागल्यावर जर **म** पदार्थ **न** पदार्थास पहिल्या सेकंदांत आपल्याकडे १०० फूट ओढील, तर तेवढ्याच वेळांत **न** पदार्थ **म** पदार्थास आपल्याकडे १० फूट ओढील. आतां त्यांमधील अंतर एक मैल होतें तें अर्धा मैल करूं. ह्मणजे **न** वर **म** चें आकर्षण $= १०० \div (\frac{1}{2})^2 = ४००$ आणि **न** चें **म** वर आकर्षण $१० \div (\frac{1}{2})^2 = ४०$ होईल. आणखी अंतर कमी करून जर तें $\frac{1}{4}$ मैल केलें, तर **म** चें **न** वर आणि **न** चें **म** वर हीं आकर्षणे अनुक्रमे १०,००० आणि १,००० अशीं होतील.

गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमाप्रमाणें सूर्य पृथ्वीस आकर्षितो, आणि पृथ्वी सूर्यास आकर्षिते. परंतु सूर्याचा पिंड पृथ्वीच्या ३००,००० पट मोठा असल्यामुळे सूर्यावर पृथ्वीचें जें आकर्षण घडतें, तें पृथ्वीवर जें सूर्याचें आकर्षण घडतें त्याशीं ताडून पाहिलें असतां फारच कमी असतें. अर्वाचीन शास्त्रज्ञांनीं शास्त्रनियमावरून जे मोठमोठे शोध लाविले, त्यांपैकीं **नेप-चून** ग्रहाचा शोध हा एक आहे; आणि हा शोध **लेव्हेरियर** आणि **आडमस्** या ज्योतिषवेत्त्यांनीं ह्या गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमावरून लाविला.

५०. पृथ्वीच्या आकर्षणाची दिशा— वजन— पृथ्वीचें आकर्षण किंवा गुरुत्व याचें कार्य कोणत्या दिशेनें घडतें हें ओळख्यानें* काढितात एका दोरीस एक जडें वजन टांगून ओळंबा केलेला असतो, आणि याच्या योगानें पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर कोणत्याही स्थळीं या आकर्षणाची दिशा पृथ्वीचा मध्य आणि तें स्थळ या दोहोंस सांधणाऱ्या रेषेत असते असें काढिलें आहे. या आकर्षणाचा व्यापार असा घडतो कीं, जणूक सर्व आकर्षक शक्ति पृथ्वीच्या मध्यांत एकत्र झालेली आहे. म्हणून गुरुत्वाकर्षणाच्या

* हस्तिदंती गोटी नंबर २ हिला भौक आहे, त्यांत दोरी ओंबून ओळंबा करावा.

नियमावरून असें सिद्ध होतें कीं, पदार्थ जसजसा या मध्याचा जवळ असेल, त्याप्रमाणें अंतराच्या वर्गाच्या व्यस्त प्रमाणानें ही आकर्षक शक्ति जास्त असते. पृथ्वीच्या मध्याविंदुस्थळीं कार्य करणारी जी ही आकर्षक शक्ति तिच्या योगानें पदार्थास वजन आलें आहे. यास्तव जसजसा पदार्थ पृथ्वीच्या मध्याजवळ अधिकाधिक न्यावा त्याप्रमाणें त्याचें वजन जास्त वाढावें असें आपणास स्वाभाविकच वाटेल; आणि वास्तविक गोष्ट अशीच आहे. पृथ्वी हा पूर्ण गोल नसून दोहों ध्रुवांकडे चपटा आहे; आणि तिचा विषुववृत्तावरील व्यास ध्रुवांमधील व्यासापेक्षां २६ मैलांनीं जास्त आहे. ह्याून ध्रुवावर असलेला पदार्थ विषुववृत्तावर असलेल्या पदार्थापेक्षां पृथ्वीच्या मध्याजवळ १३ मैल अधिक असतो; आणि यास्तव त्याचें वजनही जास्त भरलें पाहिजे. खरोखरच ध्रुवाजवळ वजन जास्त भरतें असें सिद्ध करण्यांत आलें आहे. विषुववृत्तावर जर एका पदार्थाचें वजन १९४ पौंड भरलें तर त्याच पदार्थाचें ध्रुवावर १९५ पौंड भरतें. याच कारणाकरितां पर्वताच्या माथ्यावर विवक्षित पदार्थाचें जें वजन भरेल, त्याहून समुद्रकाठीं त्याचें वजन जास्त भरेल. शिशाच्या एका गोळ्याचें वजन समुद्रकाठीं १००० पौंड भरलें, तर तोच गोळा पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासून ४ मैल उंच नेला तर त्याचें वजन २ पौंड कमी भरेल. तथापि हें आपण लक्षांत ठेविलें पाहिजे कीं, तराजू आणि वजन यांच्या योगानें पदार्थाच्या दोहों ठिकाणच्या वजनांमधील अंतर आपणास काढितां येणार नाही. कारण ज्याप्रमाणें पदार्थाच्या वजनांत गुरुत्वशक्ति बदलल्यानें फेरफार होईल, त्याचप्रमाणें वजन काढण्यास जीं वजन घेऊं, त्यांच्या वजनांतही फेरबदल होईल. तथापि हें अंतर कमानीच्या ताजव्यानें काढितां येतें.

५१. आंदोलक—घडयाळाच्या आंदोलकाचें कार्य पृथ्वीच्या आकर्षणावर अवलंबून असतें; आणि पृथ्वीच्या पृष्ठभागीं वेगळ्यावेगळ्या ठिकाणीं हें आकर्षण जसजसें बदलतें, त्याप्रमाणें आंदोलकाच्या झोंक्यांचा वेगही बदलतो. विवक्षित लांबीचा आंदोलक विषुववृत्तापेक्षां ध्रुवाजवळ जास्त जलद झोंके खातो. तसेंच पर्वताच्या शिखरापेक्षां समुद्रकाठीं जास्त जलदीन आंदोलन पावतो.

पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर निरनिराळ्या स्थळीं पृथ्वीच्या आकर्षणाचा जोर किती आहे, हें काढण्यास आंदोलकाचा उपयोग कारितात. नियमित लांबीच्या आंदोलकाचे विवक्षित काळांत जे झोंके घडतात, ते झोंके आणि पृ-

थ्वीच्या आकर्षक शक्तीचा जोर यांमध्ये जो संबंध असतो, तो बरोबर माहीत असल्याने कोणत्याही स्थळीं पृथ्वीच्या आकर्षणाचा जोर किती आहे हे बरोबर काढता येते. नियमित लांबीचा आंदोलक विवक्षित काळांत जे झोंके खातो, त्या झोंक्यांच्या संख्येच्या वर्गाच्या प्रमाणांत पृथ्वीच्या आकर्षक शक्तीचा जोर असतो; ह्मणून दोन भिन्न भिन्न स्थळीं हा आंदोलक सारख्या काळांत किती झोंके खातो, हे पाहिले ह्मणजे त्या स्थळीं पृथ्वीची आकर्षक शक्ति कशी आहे, याची तुलना करितां येईल. दोन भिन्न भिन्न स्थळीं विवक्षित काळांत आंदोलकांच्या झोंक्यांची संख्या n आणि n' , असेल, आणि त्या स्थळांचे गुरुत्वशक्तीचे जोर g आणि g' अनुक्रमें असतील तर वरील नियमाप्रमाणें $n^2 : n'^2 :: g : g'$ असे प्रमाण असेल.

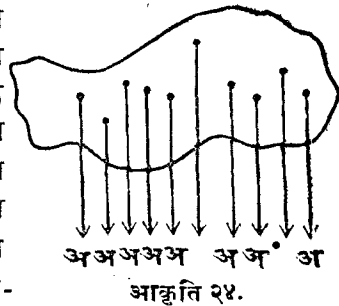
उदाहरण. स्काटलंड देशाच्या उत्तरेस जीं शेटलंड बेटें आहेत, त्यांतील स्थळ लंडनपेक्षां धुवाजवळ अधिक आहे. लंडन येथें लाविलेलें घडयाळ जर त्या स्थळीं नेलें, तर दर तासास $1\frac{1}{2}$ सेकंद याप्रमाणें जलद चालूं लागतें. तर शेटलंड बेटांत गुरुत्वाचा जोर किती आहे, हे काढ.

एका सेकंदांत एक झोंका याप्रमाणें झोंके खाणाऱ्या आंदोलकाचे लंडन येथें दर तासास 60×60 किंवा 3600 झोंके होतील. शेटलंड बेटांत याच आंदोलकाचे झोंके एका तासांत $3601\frac{1}{2}$ होतात. या संख्यांचे वर्ग करून असे प्रमाण निघतें—लंडन येथील गुरुत्वशक्ति : शेटलंड बेटांतील गुरुत्वशक्ति :: $1,29,60,000 : 12,97,000$, ह्मणून शेटलंड बेटांतील गुरुत्वशक्ति = लंडनची गुरुत्वशक्ति + $\frac{12,97,000}{1,29,60,000} = लंडन गु. + \frac{1}{100}$, ह्मणजे लंडनच्या गुरुत्वाशक्तीहून तिच्या $\frac{1}{100}$ इतकी शेटलंड बेटांतील गुरुत्वशक्ति सरासरीने जास्त असेल.

५२. गुरुत्वमध्य—गुरुत्वशक्तीमुळे ह्मणजे पृथ्वीच्या आकर्षक शक्तीमुळे पदार्थास वजन प्राप्त झाले आहे, असे आपणास समजलें. पदार्थाचा प्रत्येक कण पृथ्वीच्या मध्याकडे ओढला जातो, आणि १ घनइंच शिसे व १ घनइंच बुचाचें लाकूड, यांच्या वजनांत जें अंतर असतें, तें केवळ पहिल्यामध्ये दुसऱ्यापेक्षां गुरुत्वविशिष्ट कण जास्त असतात, म्हणून होय. ज्या दिशेने गुरुत्वाचा व्यापार घडतो, ती दिशा वर सांगितल्याप्रमाणें आपणास ओळव्याचा दिशेवरून समजते. पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील कोणत्याही स्थळीं त्या स्थळांतून काढलेली जी पृथ्वीची त्रिज्या तीच वाढविली असतां

त्या रेषेंत ओळंबा लेंबतो, आणि गोलाच्या त्रिज्या त्याच्या परिघास ज्या स्थळां छेदितात, त्या स्थळांतून जाणाऱ्या पातळ्यांशीं अनुक्रमें काटकोन करितात. ह्मणून पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील कोणत्याही स्थळाच्या गुरुत्वशक्तीची दिशा पृष्ठभागाशीं काटकोन करिते. म्हणून पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर एकमेकांजवळ अशा अनेक बिंदूंवरील ओळंब्यांच्या रेषांच्या दिशा त्या बिंदूंतून काढलेल्या पृथ्वीच्या त्रिज्यांच्या रेषांत असतील. यास्तव ओळंब्यांच्या दिशा परस्पर समांतर असणार नाहींत, हें उघड आहे. कारण गोलाच्या सर्व त्रिज्या त्याच्या मध्य बिंदूंत मिळतात. परंतु पृथ्वीचा पृष्ठभाग एवढा मोठा आहे कीं, अगदीं जवळजवळ अशा ओळंब्यांच्या रेषा असल्या, तर त्यांच्या दिशा वास्तविक समांतर रेषांपासून इतक्या थोड्या भिन्न असतील कीं, त्या समांतरच आहेत, असें कल्पिल्यानें मोठीशी चूक होणार नाहीं. ओळंब्याच्या सहाय्यानें गवेड्यांनीं बांधिलेल्या घराच्या भिंती बहुतेक समांतरच असतात. आतां हें खरें आहे कीं, मुंबईतील घराची भिंत कलकत्ता येथील घराच्या भिंतीशीं बरोबर समांतर असणार नाहीं. पृथ्वीची त्रिज्या माहीत आहे, म्हणून साधा हिशेब केल्यानें असें सिद्ध करितां येतें कीं, परस्परांपासून २०० फुटांच्या अंतरावर असलेल्या अशा २० फूट उंच इमारतीच्या भिंती; माथ्यापेक्षां तळाशीं २० इंच जास्त एकमेकांकडे वळलेल्या असतात.

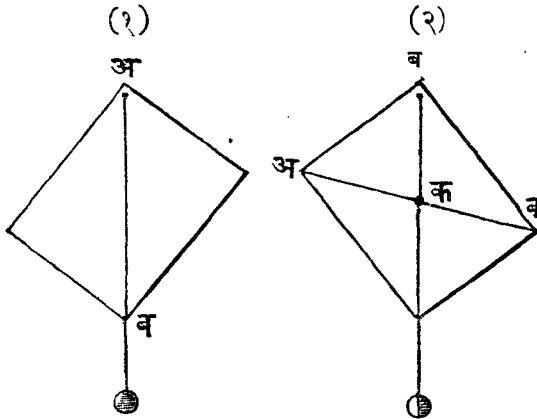
वांकड्या तिकड्या आबड धोबड अशा पदार्थावर गुरुत्वाचा जो व्यापार चालतो, त्याविषयीं आतां आपण विचार करूं. याचा प्रत्येक कण पृथ्वीकडे ओढला जातो; या अनेक अ, अ, अ, इत्यादि ओढांच्या दिशा परस्पर समांतर असतील, म्हणून त्या पदार्थावर अनेक समांतर प्रेरणांचें कार्य घडेल, आणि मागे प्रकरण ३ यांत सांगितल्याप्रमाणें या सर्वांच्या बरोबरीचें कार्य करणारी अशी एक फलित प्रेरणा काढितां येईल. ही फलित प्रेरणा सर्व समांतर प्रेरणांच्या बेरजेबरोबर म्हणजे पदार्थाच्या वजनाबरोबर असेल. ह्या फलित प्रेरणेचा कार्य करण्याचा जो बिंदु त्यास त्या पदार्थाचा **गुरुत्वमध्य** असें ह्मणतात. यास्तव पदार्थांत किंवा त्याच्या बाहेर ज्या



बिंदूंत पदार्थांचें सर्व वजन कार्य करीत आहे असें कल्पितां येतें, आणि ज्या बिंदूंत पदार्थांचें सर्व वजन एकवटलेलें आहे असें मानिल्यानें पदार्थांचा यांत्रिक परिणाम तितकाच होतो, त्या बिंदूस गुरुत्वमध्य असें झणतात.

५३. गुरुत्वमध्याचे धर्म—पदार्थ कसाही धरिला तरी पदार्थाच्या द्रव्यमय कणांच्या वजनापासून उत्पन्न झालेल्या समांतर प्रेरणा नेहमीं त्याच दिशेंत राहतील. ह्मणून उभा, आडवा, तिरकस असा कसाही पदार्थ धरिला किंवा अशा कोणत्याही स्थितींत त्यास ठेविलें, तरी त्याच्या गुरुत्वमध्याचें स्थान पदार्थाच्या संबंधानें बदलत नाहीं. जर पदार्थाच्या गुरुत्वमध्यास आधार दिला तर पदार्थ कोणत्याही स्थितींत त्यावर तोलला जाईल; कारण कोणत्याही स्थितींत पदार्थ ठेविला तरी त्याच्या सर्व कणांच्या वजनांची फालित प्रेरणा नेहमीं या स्थिर बिंदूतून जाईल. उदाहरणार्थ समरूप द्रव्यमय म्हणजे सारख्या जाडीचा असा एक लांकडाचा किंवा धातूचा वर्तुळाकार पत्रा घेऊं. याचा गुरुत्वमध्य पत्र्याच्या मध्य बिंदूंत असेल. पत्र्याच्या मध्य बिंदूंत जर एक लहानशी खळगी पाडिली, आणि त्या ठिकाणीं एका सुईवर किंवा टांचणीवर तो पत्रा धरिला, तर तो सर्व स्थितींत तोलला जाईल. हाच प्रकार चाक्रामध्ये रोज आपणास दृष्टीस पडतो. चाकें जर मध्य बिंदुस्थळीं कण्यावर चढविलेलीं असलीं, तर तीं आपल्या कण्यावर पाहिजे त्या स्थितींत समतोल राहतात. जो गुरुत्वमध्य नाहीं अशा 'दुसऱ्या कोणत्याही बिंदूपासून पदार्थ टांगिला तर तो पदार्थ हव्या त्या स्थितींत समतोल राहत नाहीं, आणि हवा तसा फिरण्याजोगा भोकळा असला तर फक्त एका स्थितींत मात्र स्थिर राहतो, असें दिसून येईल. वरच्या वाटोळ्या पत्र्यास कडेशीं भोक पाडून व त्यांतून दोरी किंवा तार घालून त्यास तिच्या भोंवतीं भोकळें फिरण्याजोगें उचलून धरिलें, तर असें आढळेल कीं, तो फक्त एका विवक्षित स्थितींत मात्र समतोल राहील. जेव्हां टांगलेल्या बिंदूपासून पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर काढलेली दिक्पेषा किंवा लंबरेषा त्याच्या गुरुत्वमध्यांतून जाईल, त्या स्थितींत मात्र तो स्थिर राहील. यावरून पुढील नियम निघाला आहे. “जर जड पदार्थ एका स्थिर बिंदूपासून टांगिल्यावर समतोल राहील, तर टांगलेल्या बिंदूतून काढिलेली दिक्पेषा किंवा लंबरेषा पदार्थाच्या गुरुत्वमध्यांतून जाईल.”

५४. प्रत्यक्ष प्रयोगानें पदार्थाचा गुरुत्वमध्य काढण्याची रीति—
जर सांगितलेल्या नियमावरून पदार्थाचा गुरुत्वमध्य प्रत्यक्ष प्रयोग करून
काढण्याची रीति निघाली आहे. कोणत्याही अ बिंदूपासून पदार्थ टांगावा.
(आकृति २५, १ पहा) आणि टांगलेल्या बिंदूपासून लंबरेषा ज्या दिशेस
जाईल ती दिशा दाखविण्यास त्या बिंदूपासून पदार्थावर रेषा काढावी. टांग-
लेल्या बिंदूपासून ओळंबा सोडून ही रेषा काढितां येते. हें उघड आहे कीं,
पदार्थाचा गुरुत्वमध्य अब या लंबरेषेंत कोठें तरी असेल. आतां जर
दुसऱ्या एका बिंदूपासून पदार्थ टांगिला आणि त्या बिंदूपासून निघालेल्या



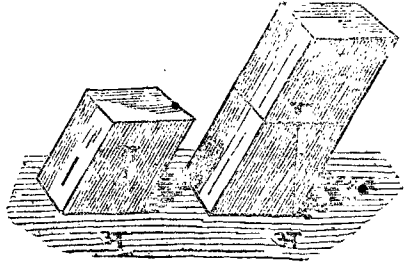
आकृति २५.

लंबरेषेची दिशा दाखविणारी रेषा काढिली (आकृति २५, २ पहा) तर गु-
रुत्वमध्य याही रेषेंत असला पाहिजे; ह्मणून या दोन रेषा ज्या क बिंदूत
छेदितली तो पदार्थाचा गुरुत्वमध्य होईल.

५५. दिकरेषा—पदार्थाच्या गुरुत्वमध्यांतून काढलेली जी लंबरेषा
तिला दिकरेषा असें ह्मणतात. ही दिकरेषा पदार्थाच्या बैठकींतून किंवा
पायांतून गेली पाहिजे; नाहीतर पदार्थ कलंडून पडतो. उदाहरणार्थ
या आकृतींत (आकृति २६) भरीव राम्बसाच्या आकाराचे दाखविलेले
लांकडी दोन चौकोनी *तुकडे वेगळे ठेविले, तर अगदीं स्थिर राहतात.
कारण प्रत्येकाच्या ग गुरुत्वमध्यांतून जाणारी गअ दिकरेषा पायांत पडते ;

* नंबर १० पहा.

परंतु दोन्ही एकमेकांवर ठेविलें तर स्थिर न राहतां कलंडून पडतात. कारण वेगवेगळ्या तुकड्यांचा ज्या उंचीवर गुरुत्वमध्य होता त्याहून या दोहोंचा मिळून गुरुत्वमध्य जास्त उंच असतो, आणि त्यामधून जाणारी दिकरे-
 पा **गंध** पायाच्या बऱ्हेर पडते. पदार्थाच्या स्थिरावस्थेस त्या-
 च्या गुरुत्वमध्यांतून जाणारी



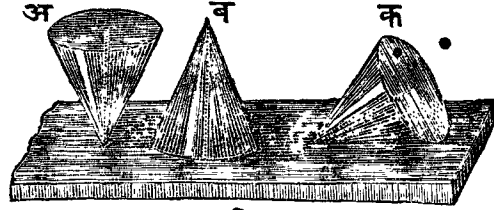
आकृति २६.

दिकरेषा त्याच्या पायांत किंवा बैठकींत पडली पाहिजे. ह्या नियमाचीं अनेक उदाहरणें आपल्या रोजच्या पाहण्यांत येतात. जसें, पाठीवरून ओझें नेणारा मनुष्य नेहमीं आपला तेल पुढें टाकितो. आणि हातांतून मेवा मि-
 ठाईचें ताट घेऊन फिरविणारा मनुष्य आपला तेल मागे टाकितो. यांचे कारण असें असतें कीं, शरीराचा तेल पुढें मागे टाकिल्यानें पायांनीं झाले-
 ला जो त्याच्या शरीराचा पाया त्यामध्ये गुरुत्वमध्यांतून जाणारी दिकरेषा येते. जेव्हां मनुष्य एका पायावर उभा राहतो, तेव्हां त्या पायावर आपल्या शरीराचा बहुतेक भार यावा ह्यातून तो आपलें शरीर त्या पायाकडे वळवितो. ह्यातून चालतांना शरीरास पायाचा आधार असेल त्या बाजूस शरीरास आलटून पालटून वळवावें लागतें. ह्यातून जर मनुष्यानें आपल्या शरीराचा तेल याप्रमाणें बदलला नाहीं, तर त्यास एकापायावर कधींच उभें राहतां येणार नाहीं. जसें ओळंब्यांत असलेल्या भिंतीजवळ मनुष्य उभा राहील, आणि आपलें डोकें व एक पाय भिंतीस टेकवील, तर त्या टेकलेल्या पायावर त्यास उभें राहतां येणार नाहीं. कारण या पायावर या स्थितींत त्यास आपला गुरुत्वमध्य दिकरेषेत आणतां येत नाहीं.

५६. **समतोलत्याच्या भिन्नभिन्न अवस्था**—गुरुत्वमध्यांतून जाणारी दिकरेषा पदार्थाच्या पायांतून गेली पाहिजे, ही गोष्ट जरी पदार्थ स्थिर किंवा बैठे राहण्यास अवश्य आहे, तरी एकाहून जास्त स्थितींत पुष्कळ पदार्थांस स्थिर किंवा बैठे ठेवितां येतें. साधी हातांत धरण्याची काठी जर जमिनीवर टाकिली, तर ती आडवी पडते. तथापि बाताबेतांनं तिला बोटाच्या अग्रावर धरिलें तर तिला एका टोंकावर तोलून धरितां येतें. परंतु ह्या स्थितींत एका बाजूस तिला यत्किंचित् चलन मिळालें तर ती

कलंडून पडते. अशा स्थितीत असलेल्या काठीस ती अस्थिर समतोल अवस्थेत आहे, असें झणतात. अस्थिर झणण्याचें कारण असें कीं, तिचें स्थल यत्किंचित हालविलें तर गुरुत्वाच्या कार्यामुळे तिच्या समतोल स्थितीपासून ती अधिकच दूर जाते. या (आकृति २७) आकृतीत टेबलावर शिरकोनावर उभा केलेला असा एक शंकू* अ ठिकाणीं दाखविला आहे.

ह्या स्थितीत शंकूस समतोल ठेवणें गणितरीत्या शक्य आहे. तथापि असें करणें व्यवहाररीत्या अशक्य आहे. कारण



आकृति २७.

शंकूचा शिरकोन हा त्याचा या स्थळीं पाया असून त्यावर शंकु उभा आहे; आणि गुरुत्वमध्यांतून जाणारी दिक्रेषा या बिंदुरूप पायांतून जाण्याजोगें जरी त्यास उभें ठेवितां येईल तरी हवेच्या कार्यानें किंवा टेबलाच्या स्थितिस्थापकतेनें यत्किंचित सुईच्या अग्राइतकें आजूबाजूस त्यास चलन मिळालें कीं, शंकूचें स्थलांतर होण्यास बस होईल, आणि यत्किंचित स्थलांतर झाल्याबरोबर आधारबिंदूच्या बाहेर दिक्रेषा जाईल; मग गुरुत्वाचें कार्य त्यास मूळच्या स्थितीपासून अधिकच भिन्न अवस्थेत नेईल. या स्थितीत शंकु समतोलत्वाच्या अस्थिरावस्थेत असतो. याच आकृतीत ब ठिकाणीं शंकू आपल्या पायावर स्थिर असलेला दाखविला आहे. या स्थितीत जर शंकूस थोडेंसें आजूबाजूकडे वळविण्यास यत्न केला, तर तो आपल्या स्थलांतरास फार प्रतिबंध करितो; आणि सोडतांच लागलाच मूळच्या स्थितीत परत येतो. या स्थितीत शंकू समतोलत्वाच्या स्थिर अवस्थेत आहे असें म्हणतात.

आणखी एका स्थितीत शंकूस स्थिर ठेवितां येतें. ती स्थिति क ठिकाणीं दाखविली आहे. शंकूचा गुरुत्वमध्य त्याच्या आंसांत झणजे त्याच्या पायाचा मध्य आणि शिरकोन यांस सांधणाऱ्या रेषेत असतो. झणून हें उघड आहे कीं, जर त्यास बाजूवर ठेवून टेबलावर हवेंतसें ढकललें तरी त्याच्या गुरुत्वमध्याचें टेबलापासून अंतर नेहमीं सारखें असतें. झणून जेव्हां शंकू

* नंबर ११ पहा.

बाजूवर असतो, तेव्हा बाजूच्या कोणत्याही भागावर असला तरी सारखाच स्थिर राहतो. या स्थितीत शंकू समतोलत्वाच्या सामान्य अवस्थेत असतो असें द्वाणतात. सपाट टेबलावर समरूप द्रव्यमय गोल द्वाणजे ज्याच्या प्रकृत्यंशांची रचना सर्वत्र सारखी आहे, असा गोल ठेविला तर तोही याच कारणाकरितां समतोलत्वाच्या सामान्य अवस्थेत असतो. कारण गोलाचा मध्य हाच त्याचा गुरुत्वमध्य असतो; आणि कोणत्याही स्थितीत गोल असला तरी तो पृथ्वीपासून सारख्या अंतरावर राहतो; द्वाणून गोल सर्व स्थितीत स्थिर राहतो.

५७. पदार्थाचा गुरुत्वमध्य जसा अधिक खाली द्वाणजे पृथ्वीच्या अधिक जवळ असेल त्याप्रमाणे पदार्थ अधिक स्थिर राहील. एक लांब व बारीक गज घेऊन त्याच्या एका टोंकावर जर शिशाचा गोळा बसविला, तर त्या टोंकावर त्या गजास उभें बसवितां येतें. मात्र हा प्रयोग साध्य होण्याकरितां गज आडवा ठेविला असतां जितका त्याचा गुरुत्वमध्य पृथ्वीजवळ असतो त्याहून गज टोंकावर उभा असतां त्याचा गुरुत्वमध्य पृथ्वीजवळ अधिक असला पाहिजे. कलंडणाच्या चित्राचें खेळणें याच तत्त्वावर केलेलें

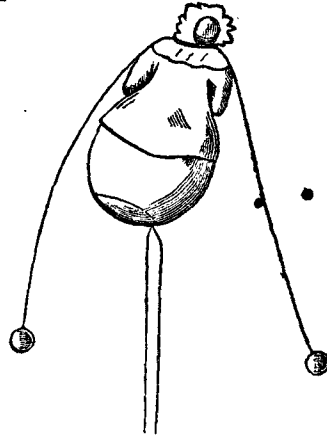


आकृति २८.

आकृति २९.

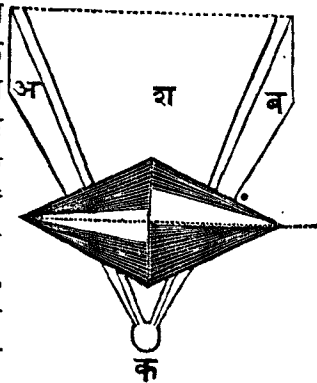
असतें. आकृति २८।२९ यांत या प्रकारचें एक खेळणें दाखविलें आहे. हें खेळणें जर सर्वभागां समरूप असें द्रव्यमय असतें, तर २८ व्या आकृतीत दाखविलेल्या स्थितीत तें स्थिर राहिलें असतें. परंतु त्याच्या बैठकीत एक शिशाचा तुकडा बसविलेला असल्यामुळे सर्व आकृतीचा गुरुत्वमध्य अ इतका खाली आला आहे की, जेव्हां खेळणें उभें असतें तेव्हाच हा गुरुत्वमध्य अत्यंत नीच स्थानीं असतो. (आकृति २९ पहा.) आणि जेव्हां आपण हें खेळणें बाजूवर ठेवितों, तेव्हां त्याचा गुरुत्वमध्य चढला जातो. द्वाणून त्यास मोकळे सोडितांच तो त्याचा गुरुत्वमध्य अगदीं नीच स्थानीं पुनरपि येऊन तें उभें राहतें.

या आकृतींत दाखविलेलें (आकृति ३० पहा) खेळणें अगदीं एका बिंदूवर तोलून धरितां येतें. मात्र त्या बिंदूखालीं गुरुत्वमध्य येईल अशी कांहीं कृति योजावी लागते. असें करण्याकरितां खेळण्याच्या गळ्याभोंवतीं एक लांब तार गुंडाळितात, आणि तिचीं दोन्ही शेवटें चित्राच्या दोहोंबाजूंस खालीं सोडून त्या दोहों शेवटांस शिशाच्या दोन गोळ्या अडकवितात. ह्या स्थितींत सर्व खेळण्याचा गुरुत्वमध्य इतका खालीं येतो कीं त्याचें स्थान खरोखरच आधारबिंदूच्या खालीं असतें, ह्याणून त्यास खालीं पाडण्यास जों जों आपण यत्न करितों, तों तों त्याचा गुरुत्वमध्य वर चढला जाऊन तो पुनः नेहमीं नीचस्थानीं येण्यास यत्न करितो, आणि खेळणें आधारबिंदूवर हेलकवि खाऊन स्थिर राहतें.



आकृति ३०.

दिसण्यांत विलक्षण आणि बाह्यात्कारी असत्यभासक असा एक प्रयोग करितात, त्याचेंही बीज हेंच आहे. दोन शंकूंचे पाये एकत्र जोडून केलेला दुरा शंकू उतरणीवरून या प्रयोगांत आपोआप वर चढतो. अक आणि बक या दोन तुकड्यांस त्यांमध्ये कोन होण्याजोगें क बिंदूस्थानीं जोडून एक उतरण केलेली आहे, व या उतरणीचा क हा अगदीं नीच बिंदु आहे. (आकृति ३१ पहा.) या उतरणीवर श हा दुरा शंकू क बिंदूपाशीं ठेविला, तर तो नेहमीं उतरणीवर आपोआप चढतो. या दुन्या शंकूचा गुरुत्वमध्य आरंभीं कोठें असतो, आणि उतरणीवर चढून तिच्या माथ्यावर गेला म्हणजे कोठें असतो, याचा जर विचार केला, तर याचें कारण सहज ल-



आकृति ३१.

क्षयांत येईल. दुऱ्या शंकूचा गुरुत्वमध्य दोहों शंकूंच्या साधारण पायाचा जो मध्य तो आहे. आणि ह्या शंकूच्या बाजू उतरत्या, व शंकू दोहों बाजूंस निमुळते असल्यानें उतरणीच्या सपाटीपेक्षां शंकूंच्या बाजूंचा उतरतेपणा जास्त आहे. ह्याणून दुरा शंकू जेव्हां उतरणीच्या माथ्यावर जातो, तेव्हां त्याचा गुरुत्वमध्य पायथ्यापेक्षां खरोखरच अधिक नीच अशा स्थानां आलेला असतो.

उदाहरणे.

(१) अ आणि ब हे दोन सारख्या पिंडांचे ह्याणजे वजनांचे किंवा प्रकृत्यशांचे पदार्थ एकमेकांपासून ४ इंच अंतरावर ठेविले आहेत. जर अ पदार्थाचा पिंड दुष्यट मोठा केला, तर त्यांच्या परस्पर आकर्षणांत काय फरक होईल? •

(२) जर दोहों पदार्थांमधील अंतर ६ इंच होईपर्यंत त्यांस परस्परांपासून दूर नेले, तर त्यांमधील परस्पर आकर्षण काय असेल?

(३) हार्टन येथील कोळशांच्या खाणींत मिस्टर ऐरी यानें जे प्रयोग केले, त्यांत त्यास भसे आढळलें कीं, ज्याचा आंदोलक एका सेकंदांत एक शेंका खात आहे, भसे षड्याळ खाणीच्या तळाशीं नेतांच दररोज $2\frac{1}{2}$ सेकंद जलद जाऊं लागले. तर खाणीचा तळ आणि माथा या ठिकाणच्या गुरुत्वशक्तीच्या जोरांमधील प्रमाण काढ.

उ० १९, २०० : १९, २०१.

प्रकरण ५.

*काम.—यांत्रिकशक्ति.

५८. **काम**—कोणत्याही शक्तीने केलेले काम हे चलन पावलेले वजन आणि ज्या अवकाशातून ते चलन पावले असेल, तो अवकाश या दोहोंवर अवलंबून असते. जर एका मनुष्याने १० पौंडांचे वजन एक फूट वर उचलिले, आणि दुसऱ्याने १० पौंड वजन २ फूट वर उचलिले, तर दुसऱ्याने पहिल्याच्या दुप्पट काम केले असे आपण झणतो. यंत्रशास्त्रात ज्यास काम म्हणतात ते **काम** उचलेले वजन आणि ज्या उंचीवर ते उचलले असेल ती उंची ह्या दोहोंच्या गुणाकाराने *मापितात. वजन मापण्यास पौंड हे वजनाचे एक प्रमाण घेतात, आणि अंतर मापण्यास फूट हे एक प्रमाण घेतात. म्हणून एक पौंड वजन पृथ्वीच्या आकर्षणाविरुद्ध झणजे पृथ्वी ज्या दिशेस ओढीत आहे, तिच्या उलट दिशेस एक फूट वर उचलल्यास एक काम होईल. ह्या कामाच्या प्रमाणास साधारणतः **फुटपौंड** असे म्हणतात. एक पौंड वजन २,२४० फूट वर उचलण्याने जितके काम होईल, तितकेच काम एक टन वजन एक फूट वर उचलल्याने होईल. कारण पौंडांच्या परिमाणांत दिलेले वजन आणि फुटांच्या परिमाणांत दिलेली उंची या दोन संख्यांचा गुणाकार किंवा फुटपौंडांची संख्या दोहोंतही समान आहे. जर पदार्थाचे वजन पौंडांमध्ये दर्शविण्यास **व** अक्षर घेतले; ज्या उंचीवर ते उचलले आहे, ती उंची फुटांत दर्शविण्यास **उ** हे अक्षर घेतले आणि पदार्थ उचलण्यांत झालेले काम दर्शविण्यास **क** हे अक्षर घेतले; तर कामाचे समीकरण खाली लिहिल्याप्रमाणे होईल.

* कोणत्याही प्रतिबंधाविरुद्ध जे चलन देणे त्यासच काम झणतात. घर्षणयुक्त अशा सपाटीवरून एका पदार्थास आपण ओढीत असले तर आपण काम करितो. परंतु घर्षणहीन झणजे गुळगुळीत वृष्टभागावरून पदार्थास चलन दिले तर काम होत नाही. पदार्थास पृथ्वीच्या आकर्षणाचा प्रतिबंध नेहमी सर्वत्र असतो, व हे आकर्षण दिक्प्रेषित घडते. झणून ह्या आकर्षणाविरुद्ध जे लंबप्रेषित चलन तेच काम मापण्यास प्रमाणभूत घेतात. हा प्रतिबंध झणजे पदार्थाचे वजन होय. या प्रतिबंधाविरुद्ध ज्या अवकाशातून गति दिली असेल, तो अवकाश आणि प्रतिबंध झणजे वजन ह्यांच्या गुणाकाराने काम साधारणपणे मापितात. दुसरा प्रतिबंध असला तर तो प्रतिबंध किंवा त्याचे पौंडांच्या परिमाणांत मान वजनाच्या ठिकाणी घेतले पाहिजे. भाषांतरकार.

क—वउ.....(२)

५९. निरनिराळ्या शक्तींचें काम करण्याचें सामर्थ्य—निरनिराळ्या शक्तींच्या काम करण्याच्या सामर्थ्याची तुलना करितांना काम करण्यास जो काळ लागला असेल, तोही आपणास हिशेबांत घेतला पाहिजे. असें समजा कीं, एकेक पौंड वजनाचा असे १० दगड २० फूट उंचीची शिडी चढून वर न्यावयाचे आहेत; आणि शिडीवर चढण्यास एक मिनिट लागतें. एक मुलगा दरवेळीं एकेक दगड याप्रमाणें दहाही दगड वर चढवील, आणि प्रत्येक दगड वर चढविला झणजे एक पौंड २० फूट उंचीवर नेल्या इतकें किंवा २० प्रमाणें किंवा फुटपौंड काम होईल. झणून १० ही दगड वर नेण्यांत एकंदर २०० फुटपौंड काम तो मुलगा १० मिनिटांत करील. (यांत खालीं उतरण्यास जो काळ लागतो तो हिशेबांत धरिला नाही.) आतां जर एक मनुष्य १० ही दगड एका खेपेंत शिडीवर चढवील, तरी त्यानें १० × २० किंवा २०० फुटपौंड काम केलें असें होईल; परंतु हें काम करण्यास दहा मिनिटें न लागतां एकच मिनीट लागतें. झणून मुलापेक्षां मनुष्याचें काम करण्याचें सामर्थ्य पुष्कळ जास्त आहे हें आपल्या नजरेस एकदम येतें; कारण मनुष्य $\frac{१}{१०}$ वेळांत तितकेंच काम करितो.

खालील कोष्टकांत निरनिराळ्या शक्तींचीं कामे करण्याचीं सामर्थ्ये दिली आहेत, झणजे एका मिनिटांत एक फूट उंचीवर किती पौंड वजन उचलण्याचें प्रत्येकाचें सामर्थ्य आहे, हें दाखविलें आहे. या संख्या कित्येक प्रयोगांची सरासरी घेऊन काढलेल्या आहेत.

निरनिराळ्या शक्ति एका मिनिटांत किती फुटपौंड काम करितात हें दाखविणारें कोष्टकः—

	फुटपौंडाची दर मिनि- टांत संख्या.
मनुष्य हातांनीं राहाट फिरवीत असतां	२,५९८
मनुष्य वल्लें मारीत असतां.....	४,०००
घोडा गाडीस जुंपलेला सावकाश चालत असतां.....	२७,२८०
” ” ” दुडक्या चालीनें चालत असतां	४२,०००
वाफरूप घोडा (यास नेहमीं एक घोड्याची शक्ति असें झणतात.)	३३,०००

वाफरूप घोडा कशाला झटलें आहे, याचें स्पष्टीकरण केलें पाहिजे. कोणत्याही यंत्राची शक्ति विवक्षित काळांत जितकें काम करण्याचें सामर्थ्य तिच्या आंगीं असेल, त्या कामाच्या संख्येनें मापितात, आणि ही शक्ति मापण्यास फुटपौंडांशिवाय दुसरें कांहीं तरी याहून मोठें प्रमाण घेणें अधिक सोईकर आहे. कारण साधारण आकाराच्या यंत्राची देखील शक्ति मापण्यास फुटपौंडांची फार मोठी संख्या घ्यावी लागेल. झणून वॉट ह्यानें असें ठरविलें कीं, एका मिनिटांत ३३,००० फुटपौंड काम करण्याची जी शक्ति तिला एक घोड्याची शक्ति असें झणावें. आणि जर दर मिनिटास ३३,००० फुटपौंड कामाच्या दुप्पट, तिप्पट किंवा चौपट काम करण्याचें सामर्थ्य यंत्राच्या आंगीं असेल तर त्यास २,३ किंवा ४ घोड्यांच्या शक्तीचें यंत्र असें झणावें.

पूर्वीं असें सांगितलें आहे कीं, वजन (पौंड) आणि उंची (फूट) या दोहोंचा गुणाकार, झालेलें काम दर्शवितो. किंवा—

$$क = व \times उ$$

विवक्षित शक्ति दर मिनिटास जितके फुटपौंड काम करिते, तें काम दर्शविण्यास क अक्षर घेतलें; त्या शक्तीनें जितकीं मिनिटें काम केलें असेल तीं मिनिटें दर्शविण्यास म अक्षर घेतलें, आणि जितक्या शक्ति काम करीत आहेत त्यांची संख्या दर्शविण्यास न अक्षर घेतलें; तर झालेल्या एकंदर कामाची सारणी खाली लिहिल्याप्रमाणें होईल.

$$क = कनम$$

हीं दोन्ही समीकरणें परस्पर बरोबर लिहून—

$$व \times उ = कनम \dots\dots\dots (३)$$

निरनिराळ्या शक्तींच्या संबंधानें क ची किंमत वरील कोष्टकांत दिली आहे, आणि बाकी व, उ आणि म यांच्या किंमती पौंड, फूट आणि मिनिटें या परिमाणांत अनुक्रमें घेतल्या पाहिजेत. वरील सारणीनें कांहीं उदाहरणें करूं.

(१) समजा कीं ५ मनुष्ये वजन उचलण्याचें चाक २ तासपर्यंत फिरवीत आहेत. तर १० टन वजन तीं मनुष्ये किती उंच चढवू शकतील.

(३) या समीकरणापासून उ ची किंमत काढल्यास $उ = \frac{कनम}{व}$; $व = १० \times २२४०$, $म = २ \times ६०$, आणि $क = २५९८$, $न = ५$; या किंमती लिहून—

$$उ = \frac{२५९८ \times ५ \times २ \times ६०}{१० \times २२४०} = ६९.५९ \text{ फूट.}$$

(२) एक यंत्र रोज १२ तास चालू ठेविलें असता ५,००,००० ग्यालन पाणी ३० फूट उंचीवर चढवूं शकतें, तर त्या यंत्राचें सामर्थ्य किती घोड्यांच्या शक्तीबरोबर आहे तें काढ?

कए ग्यालनभर पाणी १० पोंड वजन भरतें, म्हणून $v = ५०,००,०००$ पोंड,
 $उ = ३०$, $क = ३३,०००$, $म = १२ \times ६०$;

वरील समीकरणांत न ची किंमत काढून

$$न = \frac{वउ}{कम} = \frac{५०,००,००० \times ३०}{३३,००० \times १२ \times ६०} = ६.३ \text{ घोड्यांची शक्ति.}$$

उदाहरणें.

(१) दोन मनुष्ये दगड चढविण्याच्या राहाटावर काम करीत आहेत. तर ३० फूट खोल विहिरीच्या तळापासून ६ तासांत किती टन वजन वर उचलूं शकतील?

उत्तर, २७.८ टन.

(२) २५ घोड्यांच्या जोराचें यंत्र १०० यार्ड खोल खाणीच्या तळापासून १० तासांत किती टन वजनाचें ओझें वर काढूं शकेल.

उत्तर, ८८३.९ टन.

(३) ज्या बोटीचा प्रतिबंध $\frac{१}{८}$ टन आहे, झणजे ज्या बोटीस वल्हविण्यास $\frac{१}{८}$ टनाचा जोर लावावा लागतो, अशा बोटीस वल्हविण्यास ४ मनुष्ये लागलीं आहेत. तर त्या बोटीस २ मैल जाण्यास किती वेळ लागेल?

उ०, ३ तास ४ मिनिटें.

(४) एक घोडा दर तासास ३ $\frac{३}{४}$ मैलप्रमाणें चालत आहे, व ओढतांना १०४ पोंडांचा त्यास जोर लावावा लागतो, असें मानिल्यास तो दर मिनिटांत किती काम करील?

उ०, ३२,०३२ फुटपोंड.

(५) टोले मारण्याच्या एका यंत्राचें सुसळ १० हंड्रेडवेट वजनाचें आहे, व तें २० फूट उंचीवरून खाली उतरतें, तर त्यास वर चढवून खाली सोडण्याच्या राहाटावर ४ मनुष्ये रोज ८ तासप्रमाणें काम करीत असतां दररोज सुसळाचे किती टोले मारतील?

उत्तर २२२.७.

(६) एक आगगाडी सगट रुळावर दर तासास २० मैल, या समान वेगानें चालत असून साऱ्या जोडलेल्या डब्यांचें वजन १०० टन आहे आणि घर्षणाचा प्रतिबंध दर टनास ८ पोंड आहे. तर या गाडीस ओढणारें यंत्र किती घोड्यांच्या शक्तीचें आहे तें काढ?

न घोड्यांच्या शक्तीचें यंत्र आहे असें कल्पू,

घर्षणाचा प्रतिबंध $= ८ \times १०० = ८००$ पोंड, म्हणून $v = ८००$,

$$\text{एका मिनिटांत कमिल्लें अंतर} = \frac{२० \times ५२८०}{६०} = १७६० = उ, \text{ आणि } क$$

३३०००, आणि $म = १$;

$$न = \frac{वउ}{कम} = \frac{८०० \times १७६०}{३३००० \times १} = ४२.६ \text{ घोड्यांची शक्ति.}$$

(७) ५० घोड्यांच्या शक्तीचें यंत्र दर तासास ३० मैल या वेगानें सपाट रुळावर केवढें वजन ओढूं शकेल ? वरच्या उदाहरणाप्रमाणेंच दरटनास ८ पौडांचा घर्षणाचा प्रतिबंध आहे.

क्ष टन हें सर्व गाडीचें वजन घेऊं. आतां प्रत्येक टनास ८ पौडांचा प्रतिबंध यंत्रानें अतिक्रमण केला पाहिजे; म्हणून ८क्ष टन हा एकंदर प्रतिबंध झाला, म्हणून $v = ८क्ष$, $m = ६०$ मिनिटें.

आणि ज्या एकंदर अंतरांतून वजन चलन पावले आहे तें ३०×५२८० फूट = $उ$, $क = ३३०००$, आणि $n = ५०$

वउ — कनम.

$८क्ष \times ३० \times ५२८० = ३३००० \times ५० \times ६०$; म्हणून.

$$क्ष = \frac{३३००० \times ५० \times ६०}{८ \times ३० \times ५२८०} = ७८.१२ \text{ टन.}$$

(८) २० घोड्यांच्या शक्तीचें यंत्र ६ मिनिटांत १५० चौरस फूट सागवानी लाकूड चिरतें; तर प्रत्येक चौरस फुट लाकूड चिरण्यांत किती फुटपौड काम खर्च होत आहे. उत्तर, २६,४०० फुटपौड.

(९) पुणें शहरास पाणी पुरविण्याकरितां किती घोड्यांच्या शक्तीचें यंत्र पाहिजे हें आपणास काढणें आहे. दररोज यंत्र ८ तास चालू ठेवणें आहे. आणि पाणी ८० फूट उंच चढविणें आहे. पुणें शहरची लोकसंख्या १,००,००० आहे, आणि प्रत्येक व्यक्तीस १० ग्यालन पाणी देणें आहे. उत्तर, ५०.५ घोड्यांची शक्ति.

(१०) २५ घोड्यांच्या शक्तीचें यंत्र दर तासास २५ मैल या वेगानें सपाट रुळावर आगगाडीस ओढीत आहे. आणि घर्षण दर टनास ८ पौडांचें आहे. तर गाडीचें वजन किती असेल. उत्तर, ४६.८७५ टन.

(११) एक यंत्र ६० टनांचें ओझें दर तासास २० मैल या वेगानें ओढीत आहे, आणि घर्षणाचा प्रतिबंध वरील उदाहरणांतल्या इतका आहे. तर यंत्राची शक्ति किती असेल. उत्तर, २५.६ घोड्यांची.

(१२) एक यंत्र १४० यार्ड खोलीपासून ३० मिनिटांत २६ टनांचें ओझें वर उचलूं शकतें. तर त्याची शक्ति किती असेल ? उत्तर, २४.७ घोड्यांची शक्ति.

(१३) ४० घोड्यांच्या शक्तीच्या यंत्रास १० टनांचें ओझें ८८ यार्ड खोलीपासून वर चढविण्यास किती काळ लागेल ? उत्तर, ४ मिनिटें २८.८ सेकंद.

(१४) एक मनुष्य रोज १० तासप्रमाणें काम करीत असला तर रोज १०,००,००० फुटपौड काम करितो. तर एका घोड्याच्या शक्तीचा कितवा हिस्सा सरासरी तो काम करितो तें काढ ? उत्तर, ६९ घोड्यांची शक्ति.

६०. यंत्र व त्याचें काम—*यंत्राचा उद्देश कामाची वाटणी नियमितपणानें करणें, किंवा त्याची दिशा बदलणें हा आहे. जी शक्ति लाविली असेल, तिच्या सामर्थ्यापेक्षा जास्त काम यंत्रानें होणें अशक्य आहे. यंत्राच्या चरभागांत जर घर्षण नसतें, तर यंत्रास लाविलेल्या शक्तीच्या आंगां जितकें काम करण्याचें सामर्थ्य असेल, तितकेंच काम यंत्रानें झालें असतें; परंतु घर्षणरहित यंत्रें असत नाहींत, ह्याणून यंत्राच्या अनुमानिक ह्याणजे गणितानें काढलेल्या सामर्थ्यापेक्षा त्याचें वास्तविक सामर्थ्य कमी असतें; अशा वेळीं लाविलेल्या शक्तीचें जेवढें काम व्यर्थ जातें, तेवढें अनेक प्रतिबंधांचें अतिक्रमण करण्यांत खर्च होतें. यंत्रास लाविलेल्या शक्तीच्या कामा इतकेंच यंत्रानें एकंदर काम होतें, हें ह्याणणें सकृददर्शनीं खरें वाटत नाहीं. कारण असें आपण पाहतों कीं यंत्राच्या सहाय्यानें थोडी शक्ति खर्च करून मोठें वजन उचलतां येतें. उदाहरणार्थ दगड उचलण्याचें चाक फिरविण्यास एक मनुष्य थोड्या पौंडांची शक्ति लावीत असतां त्यास शेकडों पौंडांचें वजन उचलतां येतें. यंत्रशास्त्रांत वजन आणि ज्या उंचीवर तें उचलिलें असेल ती उंची या दोहोंच्या गुणाकारास काम असें ह्याणतात. ही व्याख्या लक्षांत ठेवून जर लाविलेल्या शक्तीनें केलेलें काम आणि वजन वर चढण्यांत झालेलें काम या दोहोंचा विचार केला तर आपणास असें समजेल कीं, मनुष्य अनेक वेळां चाक फिरवितो, ह्याणजे जी चाक फिरविण्यास शक्ति लाविलेली असते ती फार मोठ्या अवकाशांतून जेव्हां फिरते, तेव्हां वजन थोड्याशा अवकाशांतून वर चढतें. मोठें वजन थोड्या शक्तीनें उचलण्यास पुष्कळ काळ खर्च करावा लागतो. ह्याणून एकाचा लाभ तर दुसऱ्याचा तोटा, अशी ह्याण पडली आहे. काळ साधला तर शक्ति जाते, आणि शक्ति साधली तर काळ जातो; दोहोंतून एकाचा लाभ करून घेतला तर दुसऱ्यांत तितकाच तोटा होतो.

या प्रकरणांत ज्या यंत्रांचा किंवा यांत्रिक शक्तींचा विचार करणार आहों त्यांत घर्षणाचा प्रतिबंध हिशेबांत घेणार नाहीं, किंवा तीं यंत्रें घर्षणरहित आहेत असें कल्पूं. ह्याणून या यंत्रांत आपण असें समजूं कीं, यंत्रानें चलन पावलेलें वजन आणि ज्या अवकाशांतून तें चलन पावले आहे तो अ-

* ज्याच्या सहाय्यानें एका ठिकाणीं लाविलेल्या भेरेणेच्या हातून दुसऱ्या ठिकाणीं काम करून घेतां येतें त्यास यंत्र ह्याणतात. भाषांतरकार.

वकाश, यांच्या गुणाकाराबरोबर, यंत्रास लाविलेली शक्ति, आणि ती शक्ति ज्या अवकाशांतून चलन पावली असेल तो अवकाश, यांचा गुणाकार असतो. वजन आणि शक्ति व आणि श या अक्षरांनीं आणि हीं दोन्हीं ज्या अवकाशांतून चलन पावलीं आहेत ते अवकाश उ आणि उ या अक्षरांनीं दर्शविल्यास, या दोहोंचा संबंध दाखविणारी सारणी खालीं लिहिल्याप्रमाणें होईल.

वउ = शउ.....(४)

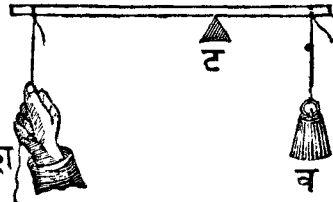
उदाहरणें.

(१) जहाजाच्या नांगराची साखळी गुंडाळण्याच्या खांबास लाविलेली मूठ जेव्हा १२० फूट अवकाशांतून फिरते, तेव्हां नांगर ५ फूट उंच वर उचलला जातो. मूठ फिरविण्यास जर १५० पौंडांची शक्ति लाविली आहे तर नांगराचें वजन किती असेल?
उत्तर, १.६५ टन.

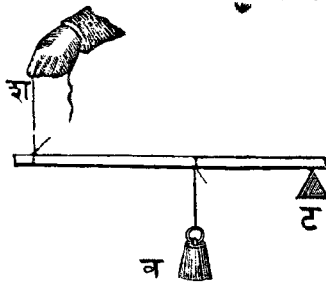
(२) अनेक कण्यांवरून जाणारी दोरी एक मनुष्य २० पौंडांच्या शक्तिनें खाली ओढीत आहे, आणि तेंणेंकरून ३५० पौंडांचें वजन वर चढत आहे. तर शक्ति आणि वजन ह्यांच्या वेगांमध्ये काय प्रमाण असलें पाहिजे?
उत्तर, ३५:२.

६१. यांत्रिकशक्ति—अगदीं जीं सार्हीं यंत्रें त्यांस यांत्रिकशक्ति असें म्हणतात. यांचाच निरनिराळ्या रीतीनें संयोग होऊन मोठीं व बिकट अशीं सर्व यंत्रें बनलेलीं आहेत. उच्चालक, अक्षचक्र (चाक्र व कणा), कप्पी, उतरण, पाचर, आणि मळसूत्र या सहा मुख्य यंत्रांस यांत्रिकशक्ति असें म्हणतात. प्रत्येक यांत्रिकशक्तीस दोन प्रेरणा लावितात, त्यास शक्ति आणि वजन असें म्हणतात; आणि त्या श आणि व या अक्षरांनीं दर्शवितात. जेव्हां यापैकीं कोणत्याही यंत्रांत शक्ति आणि वजन यांमधील प्रमाण असें असतें कीं, तेंणेंकरून एकाच्या प्रतिबंधास दुसऱ्यानें अतिक्रमण करवत नाहीं. म्हणून जेव्हां दोहोंच्या कार्यानें यंत्रास गति न मिळतां तें स्थिर राहतें, तेव्हां तें यंत्र समतोल असतें. वर जें सांगितलें त्यावरून हें उघड आहे कीं. यंत्र समतोल राहण्यास वउ = शउ हें प्रमाण असलें पाहिजे. यंत्रास लाविलेल्या शक्तीपेक्षां जेव्हां मोठें वजन उचललें जातें तेव्हां यांत्रिक स्वार्थ किंवा यांत्रिकलाभ झाला असें म्हणतात.

६२. *उच्चालक—आंसावर फिरणारा असा एक दृढ दांडा किंवा गज यास उच्चालक किंवा तरफ ह्मणतात. ज्या बिंदूवर उच्चालकाचा आंस फिरतो त्यास टेंकू असें ह्मणतात. आणि टेंकूच्या दोहों बाजूंस जे उच्चालकाचे भाग असतात त्यांस उच्चालकाच्या भुजा असें ह्मणतात. एका भुजेच्या टोंकास शक्ति लाविलेली असते व दुसऱ्या भुजेच्या टोंकास वजन लाविलेलें असतें. वजन आणि टेंकू यांमधील भुजेस वजनाची भुजा, व शक्ति आणि टेंकू यांमधील भुजेस शक्तीची भुजा असें ह्मणतात. टेंकूच्या संबंधानें शक्ति आणि वजन यांचीं जशीं स्थानें असतील त्यावरून उच्चालकाचे तीन वर्ग करितात.



आकृति ३२.

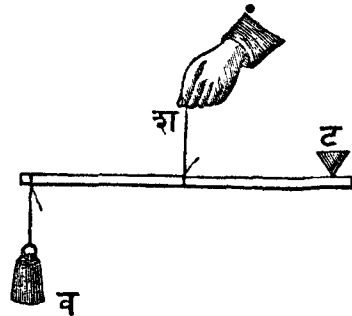


आकृति ३३.

कृति ३४ पहा) ह्मणतात.

कोणत्याही प्रकारचा उच्चालक समतोल राहण्यास कोणत्या गोष्टी अवश्य आहेत, हें काढणें झाल्यास, शक्तीनें केलेलें काम वजनानें केलेल्या कामाबरोबर आहे असें समीकरण मांडून आपणास काढितां येईल. या (आकृति ३५) आकृतीत अब हा सरळ उच्चालक आहे, व त्याचा टेंकू फ स्थळीं आहे. जेव्हां उच्चालक चलन पावून

पहिल्या वर्गाच्या उच्चालकांत (आकृति ३२ पहा.) शक्ति आणि वजन यांच्यामध्ये टेंकू असतो. दुसऱ्या वर्गाच्या उच्चालकांत (आकृति ३३ पहा.) शक्ति आणि टेंकू यांच्यामध्ये वजन लाविलेलें असतें. आणि जेव्हां वजन आणि टेंकू यांच्यामध्ये शक्ति लाविलेली असते, तेव्हां त्या उच्चालकास तिसऱ्या वर्गाचा उच्चालक (आ-

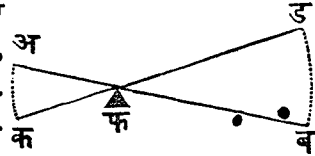


आकृति ३४.

कड रेषेने दर्शविलेल्या स्थितीत येतो, तेव्हां हे उघड आहे की जर शक्ति बड वर्तुळ कंसांतून चलन पावली तर वजन अक वर्तुळ कंसांतून चलन पावते; ह्मणून शक्ति आणि वजन यांची कामे $श \times डब$ आणि $व \times अक$ अशीं अनुक्रमे होतील; वर्तुळाचे परीघ त्यांच्या त्रिज्यांच्या प्रमाणात असतात, अ

म्हणून $श \times फब = व \times फअ$.

याची अर्थ असा की शक्ति तिच्या भुजेने गुणून जो गुणकार येईल, तो वज-



आकृति ३९.

नास त्याच्या भुजेने गुणून जो गुणकार येतो त्याबरोबर असतो. (यु० पु० ६ सि० १६). यास्तव उच्चालकाच्या समतोलत्वाचा नियम खाली लिहिल्याप्रमाणे देता येईल.

जेव्हां शक्ति आणि वजन आपापल्या भुजांच्या व्युत्क्रम प्रमाणात असतात, तेव्हां उच्चालक समतोल असतो.

६३. हाच नियम भ्रामकत्वाच्या समतेच्या सिद्धांतावरूनही काढता येतो. शक्ति, वजन, आणि टेंकूचा प्रतिबंध, या तीन प्रेरणांनी उच्चालक समतोल असतो; आणि हे उघड आहे की, टेंकूचा प्रतिबंध दुसऱ्या दोन प्रेरणांच्या फलितप्रेरणेबरोबर असतो, आणि त्याची कार्य करण्याची दिशा टेंकूतून जाते; ह्मणून टेंकू हा फलित प्रेरणेच्या दिशेतील एक बिंदु असतो. यास्तव शक्ति आणि वजन यांची फ बिंदूसंबंधी भ्रामकत्वे समान असली पाहिजेत. ह्मणजे $श \times फब = व \times फअ$. ही सारणी वरच्या सारखीच आहे.

उच्चालक सरळ नसून वांकडा असला तरी भ्रामकत्वाच्या समतेच्या सिद्धांतावरून असे उघड दिसते की शक्ति आणि वजन त्यांच्या कार्यमार्गावर टेंकूपासून काढलेल्या लंबांच्या व्युत्क्रम प्रमाणात असतात. उच्चालकाच्या समतोलत्वाचा हाच साधारण नियम आहे, आणि यांत सरळ उच्चालकाच्या नियमाचाही समावेश होतो.

शक्ति आणि वजन यांच्या फलित प्रेरणेबरोबर टेंकूवरील दाब असेल हे उघड आहे. आणि जेव्हां शक्ति आणि वजन लंब रेषेत जमिनीकडे कार्य करीत असतील तेव्हां त्यांच्या दिशा समांतर असल्यामुळे त्यांची फलित प्रेरणा त्यांच्या बेरजेबरोबर असली पाहिजे.

६४. रोजच्या व्यवहारांत ज्या साध्या यंत्रांचा आपण उपयोग करितों, त्यांत उच्चालकाचीं असंख्य उदाहरणें आढळतील. जसें कात्री हें पहिल्या वर्गाच्या उच्चालकाचें उदाहरण आहे. दोन पाती ज्या खिळ्यांनं जोडलेलीं असतात तो खिळा टेंकू होय. जो पदार्थ कापावयाचा असतो तें वजन आणि हातानें कापितों ती शक्ति होय. नावेचें वल्हें हें दुसऱ्या वर्गाच्या उच्चालकाचें उदाहरण आहे. यांत पाणी हा टेंकू आणि हात ही शक्ति, या दोहोंमध्ये नाव हें वजन असतें. पायचरक फिरविण्याची फळी किंवा दांडी हें तिसऱ्या वर्गाच्या उच्चालकाचें उदाहरण आहे. ही फळी एका कडेस ज्या बिजागरीनें चरकाच्या उभ्या चौकटीस जोडलेली असते ती बिजागर तिचा टेंकू समजावयाचा. आणि पायांनं जो दाब फळीवर घालतों ती शक्ति, टेंकू आणि वजन यांच्यामध्ये लावितां. पहिल्या वर्गाच्या उच्चालकांत वजनाच्या बरोबर किंवा त्याहून कमी किंवा जास्त अशी शक्ति असूं शकेल. दुसऱ्या वर्गाच्या उच्चालकांत शक्ति वजनाहून मोठी कधीं असूं शकणार नाही; परंतु नेहमीं ती वजनपेक्षां कमी असेल, आणि तिसऱ्या वर्गाच्या उच्चालकांत शक्ति नेहमीं वजनाहून मोठी असली पाहिजे.

६५. तराजू किंवा साधा ताजवा पहिल्या वर्गाच्या उच्चालकाचें उदाहरण आहे. याच्या भुजा समान असतात. तराजू जेव्हां समतोल असतो, तेव्हां शक्ति आणि वजन हीं समान असतात. तराजूनें बरोबर वजन समजण्यास त्याच्या भुजा अगदीं बरोबर असल्या पाहिजेत, आणि तराजूचें त्याच्या आंसावर घर्षण होईल तितकें कमी घडलें पाहिजे. असमान भुजांच्या तराजूंत जर दुकानदार धाकट्या भुजेस लाविलेल्या पारड्यांत वजन घालील, तर तो गिऱ्हाइकांस फसवील; आणि जसजशी एक भुजा दुसरीहून लहान असेल त्याप्रमाणें गिऱ्हाइक जास्त फसलें जाईल. कारण पारडीं समतोल करण्यास लांब भुजेच्या पारड्यांत कमी वजनाचा पदार्थ घालावा लागेल, आणि दुकानदार तर आंखूड भुजेच्या पारड्यांत जीं वजन घालील तेवढ्या वजनाचा पदार्थ जोखून दिला असा हिशेब करील. ज्या तराजूच्या भुजा असमान आहेत अशा तराजूनें पदार्थाचें खरें वजन काढितां येतें. कारण जर व हें पदार्थाचें खरें वजन असेल आणि त्याचें वजन एका पारड्यांत भरलें व दुसऱ्या पारड्यांत ब भरलें आणि तराजूच्या भुजा अनुक्रमें ऐ, घ असल्या तर—

$$व \times छ = ब \times घ$$

$$व \times घ = अ \times छ.$$

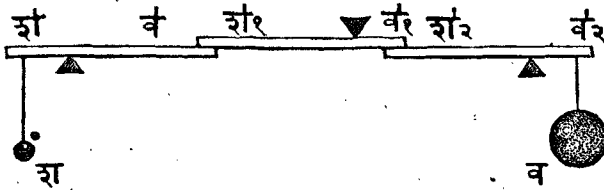
या दोहोंचा गुणाकार करून—

$$व^2 \times छ घ = अब \times छ घ, \therefore व = \sqrt{अब}.$$

द्वणून कोणत्याही तराजूने पदार्थाचें खरें वजन काढण्यास तो पदार्थ प्रत्येक पारड्यांत घालून वजन काढावें, आणि त्या वजनाचा गुणाकार करून त्याचें वर्गमूळ काढावें द्वणजे खरें वजन निघेल.

खोट्या तराजूने पदार्थाचें खरें वजन काढण्याची एक उत्तम सोपी रीति बोर्डा नांवाच्या गृहस्थानें काढिली आहे. एका पारड्यांत पदार्थ घालून तराजू समतोल होई पर्यंत दुसऱ्या पारड्यांत वाळू घालावी; नंतर पारड्यांतून पदार्थ काढून त्यांत तराजू समतोल होईपर्यंत वजन घालावी, द्वणजे शेवटीं घातलेली वजने पदार्थाच्या खऱ्या वजनाबरोबर असतात. कारण त्या वजनापासून आणि पदार्थापासून सारखाच परिणाम घडतो.

६६. संयुक्त उच्चालक—यंत्रें करितांना अनेक उच्चालकांच्या सांगडींचा कधीं कधीं उपयोग करितात. अशा सांगडींत हव्या तितक्या उच्चालकांचा उपयोग करितां येतो. अशा उच्चालकास संयुक्त उच्चालक



आकृति ३६.

द्वणतात. संयुक्त उच्चालकांत एका उच्चालकाच्या वजनाच्या भुजेचें टोंक दुसऱ्याच्या शक्तीच्या भुजेच्या टोंकावर दाब उत्पन्न करितें. या प्रकारचा संयुक्त उच्चालक या (आकृति ३६) आकृतींत दाखविला आहे. हा उच्चालक पाहिल्या वर्गाच्या तीन साध्या उच्चालकांचा बनला आहे. अशा सांगडींत उच्चालकांची संख्या विषम असली तर ज्या टोंकास वजन लाविलें असेल तें टोंक, जसें एका उच्चालकांत चलन पावतें तसेंच, शक्ति ज्या दिशेस चलन पावते त्याच्या उलट दिशेस चलन पावेल. परंतु जर उच्चालकांची संख्या सम असली तर शक्ति आणि वजन एकाच दिशेस

चलन पावतील. जेव्हां शक्ति आणि वजन यांस एकाच दिशेस गति मिळावी अशी जरूर असते तेव्हां सम उच्चालकांची सांगड उपयोगी पडते.

संयुक्त उच्चालकांत शक्ति आणि वजन यांमध्ये जो संबंध असतो तो दर्शविणारी सारणी काढूं. असें समजूं श. श_१, श_२ इत्यादी अक्षरें शक्तीच्या भुजांस लाविलेल्या शक्ति दर्शवितात; तसेंच श, श_१, श_२ इत्यादि आणि व, व_१, व_२ इत्यादि शक्ति आणि वजन यांच्या भुजांच्या लांब्या अनुक्रमें दर्शवितात; तर दुसऱ्या उच्चालकास लाविलेली श शक्ति हीच पहिल्या उच्चालकास लाविलेल्या श शक्तीनें तोलून धरिलेल्या वजनाबरोबर असेल; म्हणून—

$$श_१ \times व = श \times श; \text{ म्हणून } श_१ = \frac{श \times श}{व}.$$

तसेंच दुसऱ्या उच्चालकांत—

$$श_२ \times व_१ = श_१ \times श_१; \text{ म्हणून } श_२ = \frac{श_१ \times श_१}{व_१} = \frac{श \times श \times श_१}{व \times व_१}.$$

आणि तिसऱ्या उच्चालकांत—

$$श_३ \times व_२ = श_२ \times श_२; \text{ म्हणून } श_३ = \frac{श_२ \times श_२}{व_२} = \frac{श \times श \times श_१ \times श_२}{व \times व_१ \times व_२}.$$

किंवा—

$$श_३ \times व \times व_१ \times व_२ = श \times श \times श_१ \times श_२.$$

यावरून संयुक्त उच्चालकाविषयी खालील नियम निघतो.

संयुक्त उच्चालकांत जेव्हां शक्ति आणि सर्व शक्ति भुजा यांचा गुणाकार, वजन आणि सर्व वजन भुजा यांच्या गुणाकाराबरोबर असेल तेव्हां शक्ति आणि वजन समतोल असतील.

*उदाहरणें.

(१) पहिल्या वर्गाच्या उच्चालकाच्या एका टोंकास २० पौंडांचें वजन लाविलें आहे. आणि त्याच्या भुजेची लांबी एक फूट आहे; दुसऱ्या भुजेची लांबी जर पांच फूट असेल, तर वजन तोलून धरण्यास किती शक्ति लागेल? उत्तर, ४ पौंड.

(२) एका खोल्या तराजूनें पदार्थाचा वजन दोहों पारख्यात अनुक्रमें ४ पौंड आणि ६ $\frac{१}{२}$ पौंड भरतात. तर त्या पदार्थाचें खरें वजन काय असेल? ५०, ५ पौंड.

* या उदाहरणांत मुद्दाम सांगितलेलें नसेल तेव्हां उच्चालक गुरुत्वशून्य आहे असें समजावें.

(३) खोद्या तराजूच्या एका पारध्यांत पदार्थ घातला तेव्हा त्याचे वजन $2\frac{1}{2}$ पौंड भरलें, व दुसऱ्या पारध्यांत $५\frac{१}{२}$ पौंड भरलें, तर त्याचे खरें वजन किती आहे तें काढ?

उ०, ५ पौंड.

(४) उच्चालकाच्या टेंकूपामुन २ फूट अंतरावरच्या टोंकास १० पौंडांचें वजन टांगिलें आहे. टेंकूच्या दुसऱ्या बाजूस ५० पौंडांचें वजन कोठें टांगिलें असता उच्चालक समतोल राहील ?

उत्तर, टेंकूपामुन ०.४ फूट अंतरावर.

(५) उच्चालकाच्या भुजा २: ३ या प्रमाणांत आहेत, आणि टेंकूवरील एकंदर दाब २० पौंडांचा आहे. तर उच्चालकास टांगलेलीं वजनें काय असतील?

उत्तर, ८ आणि १२ पौंड.

(६) १० फूट लांब आणि १६० पौंड वजनाची अशी एक तुळी दोन मनुष्ये खाद्या-वरून नेत आहेत, आणि तिच्या एका टोंकापामुन ३ फूट अंतरावर ५० पौंडांचें वजन टांगिलें आहे; तर प्रत्येक मनुष्यास किती भार ध्यावा लागतो ?

उ०, ११५ आणि ९५ पौंड.

(७) तराजूच्या भुजा २०: २१ या प्रमाणांत आहेत. लांब भुजेच्या टोंकास लाविलेल्या पारध्यांत जर पदार्थ घातला तर त्याचे वजन ५० पौंड भरतें: तर त्याचे खरें वजन काय असतें?

उत्तर, ४७.६१ पौंड.

(८) किराणा जिन्नस विकणाऱ्या दुकानदारापाशीं एक खोटा तराजू आहे, त्याच्या भुजा १८: १९ या प्रमाणांत आहेत; एक गिन्हाईक दर हंड्रेटवेदास २८ रूपये या दरानें या तराजूनें साखर जोखून घेतो. तर तो वास्तविक दर पौंडास काय भाव देतो?

उत्तर, दर पौंडास ४ भा० २.६ पै.

(९) ल फूट लांबीची तुळी तिच्या जाड टोंकापामुन लू फुटांवर दिलेल्या टेंकूवर तोललेली आहे. तिच्या बारीक टोंकास जर ३ पौंडांचें वजन टांगिलें, तर तिला सम-तोल करण्याकरितां बारीक टोंकाकडे टेंकू $\frac{१}{३}$ फूट सारावा लागतो. तर तुळीचे वजन काय असेल?

उत्तर, $\frac{१}{३}$ व पौंड.

(१०) मला पृथ्वीस लावण्याजोगी लांब व बळकट अशी एक तरफ द्या, आणि उभें राहण्यास स्थळ द्या म्हणजे मी पृथ्वीस वर उचलीन असें आर्किमिडीज म्हणत असे असे सांगतात.

पृथ्वीचा व्यास ८००० मैल आहे व पृथ्वीच्या द्रव्याच्या एक घनफुटाचें वजन ३०० पौंड आहे; असें कल्पूं कीं, आर्किमिडीज यास तरफ मिळाली आणि ती लावण्यास स्थळ मिळालें तर पृथ्वीस एक इंच वर उचलण्यास किती काळ लागेल तें काढ ? असें समजूं कीं तो दररोज १० तासप्रमाणें तरफेवर ३० पौंडांच्या प्रेरणेंनें कार्य करीत आहे; आणि दर तासास २ मैल इतक्या अंतरांतून तिच्या टोंकास सरकवीत आहे.*

* हें उदाहरण केवळ विद्यार्थ्यांची उदाहरणें सोडविण्याची रस वाढावी झणून दिलें आहे. विश्वाच्या रचनेवर ज्या अनेक प्रेरणांचें कार्य घडत आहे त्यांचें इतकें पूर्णपणें

टीप—गोलाचें घनफळ त्याच्या त्रिज्येच्या घनास $\frac{4}{3}\pi$ नी गुणून काढितात.

उ०, ८५३५०७,००,५८,७०,८४१ $\frac{३२४}{४८६६६}$ वरें.

(११) अ आणि ब हे दोन समान उंचीचे मनुष्य एका काठीस टांगलेले वजन खांद्यावरून नेत आहेत, तर ब च्या तिष्ठ भार अ वर पडण्यास तें वजन काठीस कोठें टांगिलें पाहिजे? उ०, अ पासून काठीच्या लांबीच्या $\frac{३}{४}$ अंतरावर.

(१२) तिसऱ्या वर्गाच्या सरळ उच्चालकास लाविलेले १६ पौंडांचें वजन लंबदिशेंत कार्य करणाऱ्या अशा २० पौंडांच्या प्रेरणेनें समनोल धरिलें आहे. जर एक भुजा दुसरीहून ४ इंचांनी अधिक लांब असली तर एकंदर उच्चालकाची लांबी काय असेल?

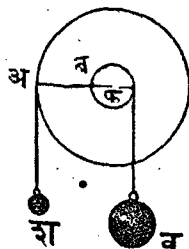
उ०, २० इंच.

(१३) पहिल्या वर्गाचा उच्चालक क्षितिजपातळीशीं समांतर अशा दोन वजनांनी स्थिर राहिला आहे. जर दोहों वजनांतील अंतर १० पौंड, उच्चालकाच्या दोहों भुजांमधील अंतर २ इंच आणि टेकूवरील एकंदर दाब ५० पौंड असेल तर उच्चालकास लाविलेली वजनें काय असतील, आणि तीं ज्या स्थळीं लाविलीं असतील त्या स्थळांमधील अंतर काय असेल?

उ०, २० पौंड आणि ३० पौंड वजनें. अंतर १० इंच.

अक्षचक्र (चाक व कणा)*

६७. अक्षचक्र (चाक व कणा)—हा एक उच्चालकाचाच विशेष प्रकार आहे. अक्षचक्रांत एक चाक आणि एक नलिकाकार कणा अमून दोन्ही एकाच आंसावर फिरतात. चाकाच्या परिघावर शक्ति लाविलेली असते, आणि चाक फिरले ह्मणजे कण्यावर दोरी गुंडाळते. आकृति ३७ मध्ये



अक्षचक्राचें चित्र दाखविलें आहे, त्यावरून आपणास समजेल कीं, जर शक्ति अ ठिकाणीं आणि वजन ब ठिकाणीं लाविलें आणि सर्व चक्र फ आंसावर फिरलें, तर अफ रेषा दुसऱ्या वर्गाच्या उच्चालकाप्रमाणें कार्य करील. मात्र त्यास गति एकसारखी सतत मिळेल.

जर आकृतीत दाखविल्याप्रमाणें कण्याच्या दुसऱ्या बाजूस वजन लाविलें तर उच्चालक पहिल्या प्रकारचा हो-

आकृति ३७ बी. ईल. परंतु त्याच्या भुजा पूर्वी इतक्याच लांब असतील.

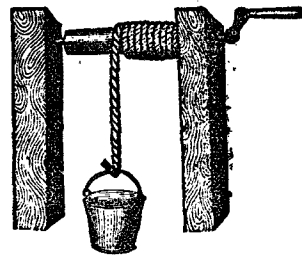
समनोलन आहे कीं, जर आर्किमिडीस यास अशी प्रेरणा लावितां आली असती, तर अगदीं अति लहान प्रेरणेनें सुद्धा पृथ्वी सूर्यावर जाऊन पडेल असा संभव दिसतो.

* नंबर २२ पहा.

कारण दोन्ही वेळ चाक व कणा यांच्या त्रिज्याच भुजा असतात. अक्षचक्राच्या समतोलत्वाचा नियम उच्चालकाच्या सिद्धांतावरून काढिता येतो. किंवा यंत्रास साधारण कामाचा सिद्धांत लावूनही काढिता येतो. अफ हा उच्चालक समजला, तर $श \times अफ = व \times बफ$ असेल; आणि कामाचा सिद्धांत लावून केल्यास $श \times चक्राचा परीघ = व \times कण्याचा परीघ$ असेल; किंवा वर्तुळांचे परिघ त्यांच्या त्रिज्यांच्या प्रमाणांत असतात; म्हणून $श \times अफ = व \times बफ$ असेल. अगर श आणि व यांची फ भोंवतालचीं भ्रामकत्वे घेतलीं तरी अफ, बफ हे फ आणि व यांच्या कार्य मार्गांवरील लंब असल्यानें $श \times अफ = व \times बफ$ अशीच सारणी येईल; म्हणून अक्षचक्राच्या समतोलत्वाचा असा साधारण नियम निघतो कीं, जेव्हां शक्ति आणि चाकाची त्रिज्या यांचा गुणाकार, वजन आणि कण्याची त्रिज्या यांच्या गुणाकाराबरोबर असतो, किंवा शक्ति आणि वजन चाक व कणा यांच्या त्रिज्यांच्या व्युत्क्रम ह्मणजे व्यस्त प्रमाणांत असतात, तेव्हां अक्षचक्र समतोल असते.

अक्षचक्र या यंत्राचा व्यवहारांत सर्व साधारण उपयोग होतो. चाक हें सलग परिघाचें चक्रच असलें पाहिजे, अशी जरूरी नसून चाकाच्या परिघाइतक्या लांबीच्या वर्तुळांतून शक्तीनें फिरणारी मूठ किंवा उच्चालक असला, तरी त्याचें कार्य चाकासारखेंच होतें. उदाहरणार्थ क्याप्स्टन मध्ये

उभ्या दांड्याच्या परिघावर बसविलेले अनेक आडवे दांडे असतात, व दांड्यांस शक्ति लाविलेली असते. यांतील प्रत्येक दांडा, शक्तीनें दांड्याचें टोंक फिरून, जें वर्तुळ निघतें, त्याच्या त्रिज्येच्या जागीं असतो. विंडलस मध्ये ह्मणजे दगड उचलण्याच्या किंवा पाणी काढण्याच्या यंत्रांत (आकृति ३८) कण्याच्या दांड्या-

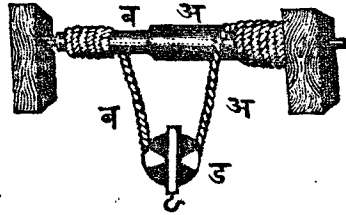


आकृति ३८ वी.

स फिरविण्याकरिता जी मूठ लाविलेली असते तीस शक्ति लावितात, आणि मूठ फिरविली म्हणजे तिचें टोंक वर्तुळाकार फिरतें.

६८. संयुक्त अक्षचक्र—साधारण अक्षचक्रानें अतिशय यांत्रिक स्वार्थ

मिळण्यास चाकाची त्रिज्या फार मोठी करावी लागेल; परंतु कण्यास लाविलेल्या मुठीचा दांडा हाताने फिरविण्याचा असल्याने बाहूच्या लांबी-पेक्षा मोठ्या त्रिज्येच्या वर्तुळांतून फिरविता येणार नाही. याकरिता चाकाची त्रिज्या या मर्यादे पलीकडे मोठी करिता येत नाही, आणि काहीं मर्यादेच्या पलीकडे कणाही बारीक करिता येत नाही. कारण कणा फार बारीक केल्यास मोडण्याचे भय असते. यास्तव मोठ्या यांत्रिकस्वार्थीची अपेक्षा असले तेव्हा तेथे संयुक्त अक्षचक्राचा उपयोग करतात. या यंत्रांत भिन्न भिन्न व्यासांचे अ आणि ब असे दोन कणे असतात. (आकृति ३९) हे कणे एकाच धातूच्या किंवा लांकडाच्या तुकड्याच करतात. एका कण्यावर दोरी गुंडाळून ती खाली एका ड कप्पीच्या खांचेवरून जाऊन दुसऱ्या कण्यावर उलट दिशेने गुंडाळलेली असते. मूठ फिरवून कणा फिरविला ह्याणजे थोरल्या कण्यावर दोरी गुंडाळते व धाकट्या कण्यावरून सुटून खाली जाते. ह्याणून प्रत्येक फेऱ्यांत कण्याखाली असलेला दोरीचा भाग दोहों कण्यांच्या परिघाच्या अंतराइतका कमी होतो. परंतु कप्पीस लाविलेलें वजन ह्या अंतराच्या निम्मे अंतरामधून मात्र वर चढते. कारण अ आणि ब ह्या दोघपैकी प्रत्येक दोरी या एकंदर अंतराच्या निम्मे मात्र आंखूड होते. ह्याणून कामाच्या सिद्धांतप्रमाणे $\text{शक्ति} \times \text{मुठीच्या फिरण्याने झालेल्या वर्तुळाचा परीघ} = \text{वजन} \times \text{दोहोकण्यांच्या परिघांमधील अंतराचे अर्ध}$, ही संयुक्त अक्षचक्राच्या समतोलत्वाची सारणी झाली. दोहों कण्यांच्या त्रिज्यांमधील अंतर कमी करून यांत्रिकस्वार्थ हवा तितका वाढविता येईल हें उघड आहे.



आकृति ३९ बी.

उदाहरणे.

(१) अक्षचक्रांत जर चाकाची त्रिज्या ३ फूट आणि चाकास लाविलेली शक्ति ४ पौंडांची असेल, तर या शक्तीने २० पौंडांचे वजन उचलण्यास कण्याची त्रिज्या किती असली पाहिजे ?
७०, ७.२ इंच.

(२) वजन चढविण्याच्या यंत्राच्या कण्याची त्रिज्या ६ इंच आहे, आणि त्यास

१२०० पौंडाचें वजन टांगिलें आहे. हें यंत्र फिरविण्यास लाविलेल्या दांड्याची लांबी जर २३ फूट असेल तर तो फिरविण्यास केवढी शक्ति लाविली पाहिजे?

उ०, २३० पौंड.

(३) ज्या अक्षचक्रावर १ पौंडाची शक्ति १ हंड्रेटवेटाचें वजन तोडून धरू शकते, त्याचें चक्र व त्याचा कणा यांच्या त्रिज्यांमध्ये काय प्रमाण असलें पाहिजे?

उ०, ११२:१.

(४) विहिरीचें पाणी काढण्याच्या रहाटाची मूठ ७५,१०० आणि १२५ पौंडांच्या शक्तींनी अनुक्रमें ३ मनुष्ये फिरवीत आहेत. कण्याची त्रिज्या ६ इंच आहे, आणि फिरविण्याच्या सुटीची लांबी ३० इंच आहे. तर हीं ३ मनुष्ये किती ग्यालन पाणी वर काढू शकतील? एक ग्यालन पाण्याचें वजन १० पौंड असतें.

उ०, १५० ग्यालन.

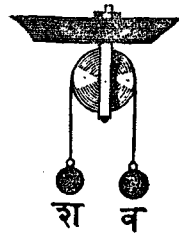
(५) प्रत्येकाची शक्ति ५० पौंड असे ३० खलाशी जहाजाचा नांगर अक्षचक्रानें उंचलीत आहेत. सांखळी गुंडाळण्याच्या दांड्याची त्रिज्या २० इंच आहे आणि त्यास ज्या उच्चालकानें फिरवीत आहेत त्याची लांबी १५ फूट आहे. तर नांगराचें वजन किती आहे तें काढ?

उ०, ६०२ टन.

(६) मागील उदाहरणांत जर २३ इंच जाडीचा दोर नांगरास लाविलेला असला तर सर्व कण्याभोंवतीं दोरीचा एकेक वेदा गुंडाळला गेल्यावर यंत्राची शक्ति किती कमी होईल? या स्थळीं कण्याची त्रिज्या दोराच्या जाडी इतकी वाढेल.

उ०, ६ किंवा शेंकडा ११.११.

६९. कप्पी*—कप्पी ही एक लहान, वटोळी व चाटी अशी चाती असून ती एका चौकटींत आपल्या आंतावर फिरती असते. जी शक्ति लाविली असेल त्या शक्तीचें कार्य हव्या त्या इच्छित दिशेस व्हावें याकरिता चातीच्या परीघावरील खांचेवर एक लवचीक दोरी लाविलेली असते दोरी आणि कप्पीच्या परिघाचा पृष्ठभाग यांमध्ये जें घर्षण होतें त्यानें चातीवरून दोरी निसटत नाहीं आणि येणेंकरून दोरीस शक्ति लाविली झणजे चाती आपल्या आंतावर गरगरां फिरते. या आकृतींत (आकृति ४०) एक अचर कप्पी दाखविली आहे. तिजवरील दोरीच्या शेवटांस श आणि व हीं वज्रनें लाविलेलीं आहेत. दोरी अगदीं लवचीक व नरम आहे असें कल्पिलें आहे, आणि चाती आपल्या आंतावर फिरत असतां तेथें घर्षणाचा प्रतिबंध होत नाहीं असेंही मानिलें आहे.



आकृति ४० ची.

एका अचरकपर्पीत श आणि व समतोल राहण्यास कोणत्या गोष्टी अवश्य लागतात, याचा विचार करूं. हें उघड आहे कीं, श १ फूट अवकाशांतून खाली गेल्यास व तितक्याच अंतरांतून वर चढेल, ह्मणून वउ = शउ, हें प्रमाण असेल आणि यांत उ आणि उ' बरोबर असल्यामुळे श = व असेल. यास्तव एका अचरकपर्पीपासून कांहीं यांत्रिकस्वार्थ करून घेतां येत



नाहीं. व्यवहारांत आसाचें घर्षण आणि दोरीचा ताठपणा या दोहोंमुळे दोरीच्या एका शेवटास लाविलेल्या शक्तीपेक्षा दुसऱ्या शेवटास लाविलेलें वजन कमी असावें लागतें. ह्मणून यांत्रिकस्वार्थ न होतां कांहीं तोटाच होतो. तथापि ज्या दिशेनें शक्तीचें कार्य होत असेल ती दिशा बदलण्यास अचरकपर्पीचा उपयोग होतो आणि याकरितां कित्येक यंत्रांत अचरकपर्पीचा उपयोग करितात. एका अचरकपर्पीनें एक मनुष्य आपणास वर उचलूं शकतो. कारण (आकृति ४१) त्यास दोरीच्या अ शेवटास आपल्या वजनाच्या निम्मेहून

आकृति ४१ वी. थोडीशी जास्त शक्ति मात्र हातांनीं लावावी लागेल, हें थोड्याशा विचारा अंतीं उघड दिसेल.

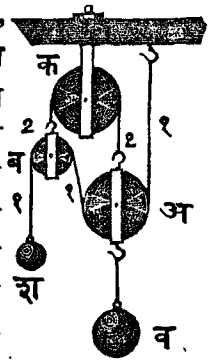
७०. अचरकपर्पीच्या जागीं चरकपर्पीचा उपयोग केला तर यांत्रिकस्वार्थ प्राप्त होतो. एक अचरकपर्पी आकृति ४२ मध्ये दाखविली आहे. दोरीचें एक शेवट तुळीस लाविलेल्या आंकड्यास अडकविलेलें आहे, व दुसऱ्या शेवटास शक्ति लाविलेली आहे. असें समजूं कीं दोरीच्या ज्या शेवटास श शक्ति लाविली आहे, तें शेवट एक फूट वर ओढिलें; तर व वजन किती उंच चढेल तें पाहूं. श शेवट एक फूट चढण्यास चाक्रीच्या दोहोंकडील दोरी अर्धा अर्धा फूट कमी झाली पाहिजे; ह्मणून हें उघड आहे कीं, वजन अर्धा फूट वर चढेल. याकरितां $व \times \frac{१}{२} = श \times १$; ह्मणून $व = २श$. आकृति ४२ वी. ह्मणजे श ठिकाणीं जर एक पौंडाची शक्ति लाविली तर ती व ठिकाणीं २ पौंडांच्या वजनास तोलून धरिल. वास्तविक ह्मणजे व वजन दोन समान प्रेरणांनीं तोलून धरिलें आहे. जर ड आंकड्यांच्या बदला त्या बाजूस



हातच वर उचलण्यास लाविल, तर प्रत्येक हात अर्धे अर्धे वजन तोलून धरील हें उघड आहे.

वास्तविक पहिलें असतां कप्पी समान भुजांचा उच्चालक आहे असें मानितां येईल. कप्पीच्या चाकीपासून यांत्रिकस्वार्थ होत नसून दोरीपासून होतो. कप्पांच्या सांगडीमध्ये ताणलेल्या दोरीच्या ओढीचें कार्य एकच वेळ न होतां अनेक वेळ होतें. ह्मणून कोणत्याही सांगडींतील यांत्रिकस्वार्थ काढणें झाल्यास खालीं लिहलेला नियम नेहमीं लक्षांत ठेवावा. कप्पीच्या ज्या बिंदूपासून दोरी निघाली असेल अशा प्रत्येक ठिकाणीं दोरीस जेवढी ओढ पडत असेल तिच्या बरोबरीची तेथें प्रेरणा आहे असें समजावें.

७१. हा नियम कसा लागू पडतो, हें पाहण्याकरितां या (आकृति ४३) आकृतींत दाखविलेल्या कप्पांच्या रचनेविषयीं विचार करूं. या रचनेंत श ठिकाणीं शक्ति लाविलेली आहे. ज्या दोऱ्यांवर १, १, १, हे आंकडे मांडिलेले आहेत, तो प्रत्येक दोरीचा भाग श एवढ्या प्रेरणेनें ओढला जातो. ह्मणजे प्रत्येक भागाचा ताण श बरोबर आहे. आणि ब कप्पीच्या आंकड्यांस लाविलेल्या दोरीचा ताण २ श बरोबर आहे. हा ताण दोरीवरून तिच्या दुसऱ्या शेवटाकडे जातो. कारण ही दोरी क या अचरकप्पीवरून जाऊन अ कप्पीच्या आंकड्यास अडकविलेली आहे; व तेथेंही तिचा ताण २ श आहे. अ कप्पीस लाविलेलें वजन कोणत्या प्रेरणांनीं तोलून धरिलें आहे, याचा आतां आपण विचार करूं.

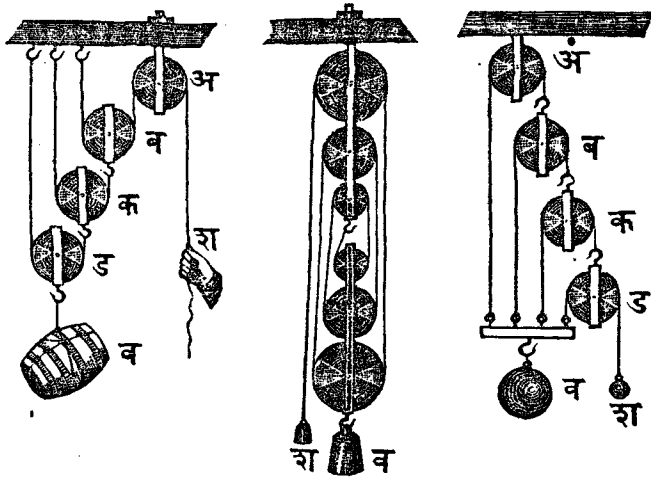


ज्या प्रत्येक दोरीचा ताण श बरोबर आहे अशा दोन दोऱ्यांनीं, आणि आकृतींत ज्या दोरीवर २ आंकडा आहे, व जिचा ताण २ श आहे, या तिसऱ्या दोरीनें वजनास तोलून धरिलें आहे. म्हणून एकंदर तोलून धरणारी शक्ति श + श + २ श आहे. म्हणजे व = ४ श. हेंच प्रमाण श आणि व यांनीं केलेलीं कामें बरोबर असतात, या नियमावरूनही निघतें. कारण या रचनेंत जर शक्ति लाविलेली दोरी ४ इंच खालीं ओढली, तर वजन सारें एक इंचांतून वर चढेल. जेव्हां कप्पांची संख्या मोठी असते तेव्हां शक्ति आणि वजन किती अवकाशांतून चढलीं किंवा उतरलीं हें काढणें थोडें कठीण,

असतें. ह्मणून वजनास तोलून धरणाऱ्या वेगवेगळ्या दोऱ्या व प्रत्येकीचा ताण यांचा विचार करणें नेहमी अधिक सोपें असतें*.

७२. कप्प्यांच्या तीन प्रकारच्या रचना किंवा सांगडी सर्वत्र प्रचारांत आहेत. पहिल्या रचनेंत प्रत्येक कप्पीवरून वेगळी दोरी जाते; व तिचा एक शेवट तुळीच्या आंकड्यास अडकविलेला असतो व सर्व दोऱ्या परस्पर समांतर असतात. दुसऱ्या रचनेंत एकच दोरी सर्व कप्प्यांच्या खांचावरून जाते. आणि तिसऱ्या रचनेंत प्रत्येक कप्पीस वेगवेगळी दोरी असते व प्रत्येक दोरीचा एक शेवट वजनास अडकविलेला असतो.

७३. या (आकृति ४४, ४५, ४६) तीन आकृतींत कप्प्यांच्या तिन्ही



आकृति ४४ वी.

आकृति ४५ वी.

आकृति ४६ वी.

रचना दाखविल्या आहेत. पहिल्या रचनेंत (आकृति ४४) दोरी अ या अचरकप्पीवरून जाऊन ब या चरकप्पीवरून गेली आहे. (आणि तिचें एक शेवट तुळीचे आंकड्यास अडकविलेले आहे, व दुसऱ्या शेवटास शक्ति लाविली आहे). म्हणून ब चरकप्पी आपल्या आंकड्यानें श शक्तीच्या दुप्पट

* सर्व सरकारी हायस्कुलांस (व ट्रेनिंगकालेजांस) आ० १३ यांत दाखविलेली कप्प्या टांगण्याची चौकट दिलेली आहे. तिच्या माथ्यावरील आडव्या गजशीं समांतर अशा एकेक इंच अंतरावर अनेक दोऱ्या आहेत. यास्तव कप्प्यांची कोणतीही रचना चौकटीस टांगिली असतां शक्ति आणि वजन अनुक्रमें किती अंतरांमधून चढतात किंवा उतरतात हें एकदम समजतें.

वजन तोलू शकेल. म्हणजे **ब** कप्पीच्या आंकड्यास लाविलेल्या दोरीवर **२ श** एवढ्या प्रेरणेची ओढ असेल. दुसरी **क** चरकप्पीही हिच्या दोरीस लाविलेल्या शक्तीच्या दुप्पट वजन याचप्रमाणें तोलून धरील. ही शक्ति ज्याअर्थी **२ श** आहे, त्याअर्थी **क** कप्पीचा आंकडा **४ श** एवढें वजन तोलून धरील. शेवटची **ड** कप्पी तिच्या दोरीस लाविलेल्या शक्तीच्या दुप्पट वजन तोलून धरील; आणि ही शक्ति **४ श** आहे, म्हणून **ड** कप्पी एकंदर मूलशक्तीच्या **८** पट वजन तोलून धरील. म्हणजे $v = ८ श = २^३ श$.

यास्तव कप्प्यांच्या पहिल्या रचनेच्या समतोलत्वाचा नियम खाली लिहिल्याप्रमाणें आहे. चरकप्प्यांच्या संख्येएवढा दोहोंचा घात करून त्यास शक्तीने गुणावि, म्हणजे त्या शक्तीने जें वजन उचललें जाईल तें निघेल.

हाच नियम खाली दिलेल्या सारणीने दाखवितां येतो.

$$v = २^n श^*$$

यांत **न** ही चरकप्प्यांची संख्या आहे.

आकृति ४४ मध्ये दाखविलेल्या रचनेचें उदाहरण या सारणीवरून करणें आहे, तर $n = ३$

$$\therefore v = २^n श = २^३ श = ८ श.$$

७४. कप्प्यांच्या दुसऱ्या रचनेत (आकृति ४५ पहा) एकच दोरी सर्व चाक्यांवरून जाते. या रचनेत दोन चौकटी असून एक अचर असते, व तिजमध्ये कांहीं चाक्या बसविलेल्या असतात. दुसरी चौकट चर असून, तिजमध्ये तितक्याच चाक्या असतात. आकृतीत प्रत्येक चौकटीत तीन चाक्या आहेत; दोरीच्या शेवटास **श** शक्तीने खाली ओढिलें म्ह-

* हीच सारणी कामाच्या नियमावरूनही काढितां येते. जर **व** वजन **उ** फूट उंचीतून वर चढेल, तर **ड** कप्पीवरील दोरीचें जें शेवट **क** कप्पीच्या आंकड्यास अडकविलें आहे, तें **२ उ** उंचीतून वर चढलें पाहिजे. असें झाल्याने **क** वरील दोरीचें जें शेवट **ब** कप्पीच्या आंकड्यास अडकविलें आहे तें **४ उ** वर चढेल. म्हणून **ब** कप्पीही **४ उ** वर चढली म्हणजे तिजवरील दोरी **८ उ** आंखूड झाली पाहिजे. म्हणजे **श** शक्ति $८ उ = २^३ उ$ खाली गेली पाहिजे. यास्तव जर $उ = उ$, तर $८ उ = २^३ उ$ आणि जर **न** चरकप्प्या असल्या, तर $८ उ = २^n उ$; या किमती वर $वउ = शउ$ यांत लिहून, $वउ = श \times २^n उ$ $\therefore v = २^n श$.

भाषांतरकार.

णजे ती ओढ साऱ्या दोरीस पोंचेल; आणि यामुळे हें उघड आहे की $v=६श$ हें प्रमाण असेल; आणि जर खालच्या चौकटीतील कप्प्यांवरील दोऱ्यांची संख्या n असेल तर सर्व साधारण सारणी $v=nश*$ होईल. या रचनेत खालच्या किंवा चरचौकटीतील दोऱ्यांची संख्या मोजावी, आणि त्या संख्येने शक्तीस गुणावें. म्हणजे जो गुणाकार येईल तेवढें वजन ती शक्ति तेलून धरील.

५. • तिसऱ्या रचनेत (आकृति ४६ पहा.) प्रत्येक कप्पीवरून बेगळी दोरी गेली आहे, परंतु दोऱ्यांचीं शेवटें पहिल्या रचनेत तुळीस बसविलेल्या आंकड्यास जशीं अडकविलेलीं होतीं, तशीं नसून वजनास अडकविलेलीं आहेत. (आकृति ४६) यांत चार कप्प्या दाखविलेल्या आहेत. त्यांतील ड कप्पीवरील दोरीचा ताण श बरोबर आहे. म्हणून ड कप्पीच्या आंकड्यास अडकविलेलें क कप्पीवरील दोरीचें शेवट २ श एवढ्या प्रेरणेनें ओढलें किंवा उचललें पाहिजे. ह्या प्रेरणेबरोबर म्हणजे २ श हा क कप्पीवरील दोरीचा ताण असला पाहिजे. त्याचप्रमाणें ब आणि अ या कप्प्यांवरील दोऱ्या ४ श आणि ८ श या जोरानें अनुक्रमें ओढल्या जाताल. म्हणून ज्या ४ दोऱ्यांनीं सारें वजन उचलून धरिलें आहे, त्यांची एकंदर ओढ श + २ श + ४ श + ८ श = १५ श होईल. म्हणून $v=१५श=१६श-श=श(१६-१)=श(२^४-१)$, आणि जर कप्प्यांची n संख्या असली तर $v=श(२^n-१)†$ असेल.

* हीच सारणी कामाच्या नियमावरून अशी काढितां येते. व वजन उ उंचीतून चढलें तर खालच्या चौकटीतील कप्प्यांवरील दोऱ्यांपैकीं प्रत्येक दोरी उ इतकी आंखूड झाली पाहिजे. म्हणजे जर n ही दोऱ्यांची संख्या असली तर $nउ$ इतकी लांबीची दोरी एकंदर कमी झाली पाहिजे. इतकी कमी होण्यास श शक्तीस लाविलेलें शेवट इतकें खालीं उतरलें पाहिजे. म्हणून उ = $nउ$, यास्तव $vउ = श \times नउ$ ∴ $v = नश$. भाषांतरकार.

† हीच सारणी कामाच्या नियमावरून अशी निघते.—जर व वजन उ उंचीतून चढलें तर व वजनास अडकविलेल्या दोऱ्यांपैकीं प्रत्येक दोरी उ इतकी आंखूड झाली पाहिजे. अ कप्पीवरील दोरी उ इतकी आंखूड झाली तर तिच्या दुसऱ्या शेवटास अडकविलेली ब कप्पी उ उंचीतून खालीं उतरली पाहिजे. ब कप्पी उ इतकी खालीं उतरण्यास तिजवरील दोरीचें दुसरें शेवट २ उ खालीं गेलें पाहिजे, आणि वजन उ उंचीतून वर चढल्यामुळे उ मधून अणखी उतरलें पाहिजे, असें एकंदर तें शेवट ३ उ खालीं गेलें पाहिजे. परंतु हें शेवट क कप्पीच्या आंकड्यास अडकविलेलें असल्यामुळे क कप्पी इतकी खालीं उतरली पाहिजे. क कप्पी इतकी उतरण्यास तिजवरील दोरीचें जें शेवट ड कप्पीच्या आंकड्यास

ह्या रचनेंत कप्प्यांचीं वजनं शक्तीस सहाय्य करितात. परंतु दुसऱ्या दोन रचनांमध्ये कप्प्यांच्या वजनांचा शक्तीस प्रतिबंध होतो.

७६. याकरितां किन्हीं रचनांत समतोलत्वाच्या सारण्या खालीं लिहिल्याप्रमाणें असतील. यांत कप्प्यांचीं वजनं आणि घर्षण हिशेबांत धरलेलें नाहीं; आणि दोऱ्या अगदीं लवचीक परंतु ताणल्यानें लांब न होणाऱ्या अशा कल्पिलेल्या आहेत.

पहिल्या रचनेंत

$$v = 2^n \times sh \dots \dots \dots (५)$$

यांत n ही चरकप्प्यांची संख्या आहे.

दुसऱ्या रचनेंत

$$v = n sh \dots \dots \dots (६)$$

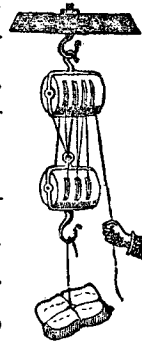
यांत n ही खालच्या चौकटीतील कप्प्यांवरील दोऱ्यांची संख्या आहे.

तिसऱ्या रचनेंत

$$v = (2^n - 1) \times sh \dots \dots \dots (७)$$

यांत n ही रचनेंतील एकंदर कप्प्यांची संख्या आहे.

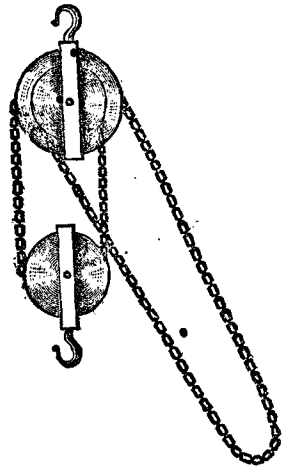
७७. दुसऱ्या रचनेचा आणखीं एक प्रकार व्यवहारांत फार उपयोगी पडतो. यांत सोईकरितां प्रत्येक चौकटींतील कप्प्या सारख्याच आकाराच्या केलेल्या असतात; आणि प्रत्येक चौकटींतील कप्प्या एका साधारण आंसावर फिरतात. जी रचना नेहमीं प्रचारांत असते, ती या बाजूच्या आकृतींत (आकृति ४७) दाखविली आहे.



संयुक्तकप्पी— फार उपयोगी व फार शक्तिमान अशी संयुक्तकप्पीची रचना अगदीं आलीकडे फार प्रचारांत येत चालली आहे. यांत्रिकस्वार्थ वाढविण्याकरितां संयुक्त अक्षचक्रांत ज्या तत्त्वांची योजना करितात, म्हणजे कप्प्याच्या एका भागावरून वजन उतरतें, व एका आकृति ४७ वी.

अडकविलें आहे, तें $६ उ + उ = ७ उ$ इतकें खालीं गेलें पाहिजे. हें इतकें खालीं गेल्यास $उ$ कप्पी तितकी उतरेल, आणि $उ$ वरील दोरीच्या शेवटास $श$ शक्ति लाविली आहे. तें शेवट $१४ श + श = १५ श$ इतक्या उंचीतून उतरेल. झणून $उ = १५ उ$ झाले. $व उ = श उ = श \times १५ उ \therefore v = १५ श = श(२^४ - १) = श(२^n - १)$. भाषांतरकार.

भागावरून चढतें, तीच योजना संयुक्तकर्णीत केलेली असते. या (आकृति ४८) आकृतीत संयुक्तकर्णी दाखविली आहे. या कर्णीच्या वरच्या अचर चौकटींत एकाच तुकड्यांत दोन चाक्या खोदलेल्या आहेत, व एकीचा व्यास दुसरीहून थोडा कमी आहे, आणि खालच्या बाजूस एकच साधी चरकर्णी आहे. एक सलग सांखळी वरच्यातील थोरल्या चाकीवरून जाऊन नंतर खालच्या चरकर्णीवरून गेली आहे, आणि मग पुनः वरच्या अचर चौकटीतील धाकट्या चाकीवरून गेली आहे. सांखळी काहीं शक्तीने खाली ओढली म्हणजे वरच्या चौकटीतील थोरली कर्णी फिरते व त्याबरोबर धाकटी कर्णीही फिरते. परंतु संयुक्त अक्षचक्रा-



आकृति ४८ वी.

प्रमाणें ज्या खालच्या चरकर्णीस वजन लाविलें आहे, ती वरची थोरली कर्णी फिरली म्हणजे वर चढते, आणि धाकट्या कर्णीच्या फिरण्यानें खाली उतरते. म्हणून हें उघड आहे कीं, वरच्या कर्णीतील दोन्ही चाक्यांच्या व्यासाच्या अंतराद्वारे वजन दर फेऱ्यांत चढेल, आणि ज्याप्रमाणें हें अंतर कमी असेल त्या मानानें यांत्रिकस्वार्थ वाढेल.

उदाहरणें.

(१) कर्ण्यांच्या एका रचनेंत एकच दोरी सर्व कर्ण्यांवरून गेली आहे, व कर्ण्यांवरील दोरीचे भाग परस्पर समांतर आहेत. खालच्या चौकटींत ७ कर्ण्या आहेत, तर एक शेराची शक्ति किती वजन तोडून धरू शकेल? उ०, १४ शेरा.

(२) प्रत्येक कर्णी वेगळ्या दोरीनें टांगिली आहे, आणि दोऱ्या परस्पर समांतर आहेत, अशा रचनेंत जर चरकर्ण्यांची संख्या ७ असेल, तर $1\frac{1}{2}$ शेराची शक्ति किती वजन तोडू शकेल? उ०, १९२ शेरा.

(३) एका रचनेंत ९ कर्ण्या असून त्यांस लाविलेल्या दोऱ्या समांतर आहेत, आणि प्रत्येक दोरी वजनास अडकविलेली आहे. तर अशा रचनेंत ५११० पोंडांचें वजन तोडून धरण्यास किती शक्ति लागेल? उ०, १० पोंड.

(४) एका चरकर्णीस १५ शेरांचें वजन टांगिलें आहे, आणि तिजवरील दोरीचे

दोन भाग परस्पर समांतर नसून त्यांमध्ये ६०° चा कोन होत आहे. तर दोरीच्या प्रत्येक भागाचा ताण किती ? उत्तर, ८.६६ शेर.

• (५) आकृति ४७ मध्ये दाखविलेल्या कप्प्यांच्या रचनेत खालच्या चौकटीत १० कप्प्या असल्या तर २२५० शेरांचे वजन तोलून धरण्यास किती शक्ति लाविली पाहिजे ? उ०, २२५ शेर.

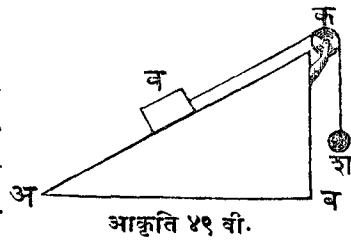
(६) ज्या कप्प्यांच्या रचनेत एकच दोरी सर्व कप्प्यांवरून जात आहे, अशा रचनेत १६८ पौंड वजनाचा मनुष्य १८ हंड्रेटवेट वजन तोलून धरू शकतो. • तर खालच्या चौकटीत कप्प्या किती असल्या पाहिजेत ? उ०, ६.

(७) ज्या रचनेत प्रत्येक दोरी वजनास अडकविलेली आहे, अशा रचनेत कप्प्यांची संख्या तीन असून शक्ति आणि वजन समतोल आहेत. यात शक्ति जर १ शेरांनी वाढविली तर किती जास्त वजन उचलितो येईल ? उ०, ७ शेर.

७८. उतरण—क्षितिजपातळीशीं कलत्या अशा पातळीस उतरण म्हणतात. उतरणीच्या कलत्या किंवा उतरत्या पृष्ठभागावर वजन असते. परंतु शक्ति हव्या त्या दिशेने लावितात.

पातळीशीं समांतर अशा दिशेत जेव्हां शक्ति लावितात, त्या वेळीं वजन आणि शक्ति यांमध्ये काय संबंध असतो, याचा विचार करूं.

व वजन (आकृति ४९ पहा) उतरणीच्या सपाटीवरून उतरणीशीं समांतर अशा दिशेत कार्य करणाऱ्या श या शक्तीने वर ओढलें जात आहे. जेव्हां व वजन अ पासून क पर्यंत जाईल तेव्हां शक्ति अक एवढ्या अंतरांतून खालच्या बाजूस चलन पावेल आणि व वजन बक एवढ्या उंचींतून मात्र वर चढेल; म्हणून कामाच्या नियमावरून $व \times बक = श \times अक$ अशी सारणी निघेल.



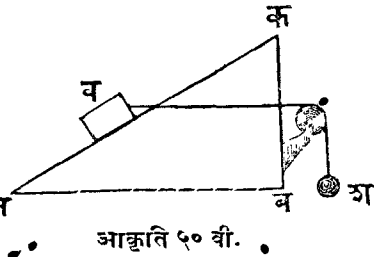
म्हणून जेव्हां शक्ति उतरणीच्या सपाटीशीं समांतर अशा दिशेत कार्य करिते, तेव्हां शक्तीस जसे वजन तसे उतरणीच्या उंचीस तिची लांबी असे प्रमाण असते.

जेव्हां शक्ति क्षितिजपातळीशीं समांतर म्हणजे उतरणीच्या पायाशीं समांतर अशा दिशेत कार्य करिते, (आकृति ५० पहा) तेव्हां हे उघड

आहे कीं, जर शक्ति अब पायाच्या बरोबरीच्या अंतरांतून चलन पावली तर वजन उतरणीच्या उंची इतक्या अवकाशांतून वर चढेल; यास्तव—

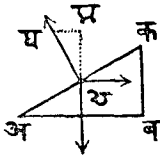
$$व \times बक = श \times अब.$$

यावरून असा नियम निघतो कीं, जेव्हां शक्ति क्षितिजपा-
तलीशीं किंवा उतरणीच्या
पायाशीं समांतर अशा दि-
शेंत कार्य करिते, तेव्हां श-
क्तीस जसे वजन तसे उतर-
णीच्या उंचीस तिचा पाया.



७९. वरच्या दोन्ही प्रकारांत प्रेरणात्रिकोणाच्या सिद्धांतावरूनही हे नियम काढिता येतात.

उतरणीवर ज्या तीन प्रेरणा समतोल असतात त्या या होत. (१) शक्ति, ही प्रेरणा (आकृति ५१) उतरणी-
च्या सपाटीशीं समांतर अशा दिशेंत कार्य करिते, किंवा
(आकृति ५२) उतरणीच्या पायाशीं समांतर अशा
दिशेंत कार्य करिते, (२) वजन, हे दोहों ठिकाणीं दिक्-
रेषेंत कार्य करितें, आणि (३) वजनास आधार देणाऱ्या
उतरणीच्या सपाटीचा प्रतिबंध, हा प्रतिबंध उतरणीच्या सपाटीच्या पृष्ठ-
भागाशीं लंब अशा दिशेंत कार्य करितो.



आकृतीमध्ये या प्रेरणांच्या दिशांशीं समांतर असलेल्या
अनुक्रमें छेद्य, प्रक्षे आणि छेद्य या छेद्य त्रिकोणाच्या
बाजू प्रेरणा दर्शवितात. दोन्ही ठिकाणीं प्रेरणा त्रिको-
णाच्या सिद्धांतावरून—

आकृति ५२.

$$श : व :: छेद्य : प्रक्षे.$$

जेव्हां शक्ति उतरणीच्या सपाटीशीं समांतर अशा दिशेंत कार्य करीत
असेल तेव्हां (आकृति ५१ पहा) छेद्य आणि अबक हे त्रिकोण सरूप
आहेत, म्हणून (यु० पु० ६ सि० ४ प्रमाणें)

$$छेद्य : प्रक्षे :: बक : कअ$$

यास्तव—श : व :: बक : कअ.

दुसऱ्या वेळीं जेव्हां शक्ति उतरणीच्या पायाशीं समांतर अशा दिशेंत कार्य करिते तेव्हां (आकृति ५२ पहा) (यु० पु० ६ सि० ४ प्रमाणें.)

घट्टः प्रश्न :: बकः बअ.

यास्तव—शः वः :: बकः बअ.

उतरणीचा कल किंवा उतार तिची लांबी व उंची यांमधील प्रमाणांन मापितात. उदाहरणार्थ—ज्या उतरणीची उंची १ फूट आणि लांबी १० फूट आहे, त्या ठिकाणी उतरणीचा कल १ किंवा १० मध्ये एक आहे असे म्हणतात.

८२. वजनाचा उतरणीवर दाब—आकृति ५१ आणि ५२ यांत दाखविल्याप्रमाणें प्रेरणात्रिकोण काढून जी बाजू हा दाब दर्शविते, आणि जी उतरणीच्या पृष्ठभागाशीं लंब असते तिची लांबी काढून उतरणीवरील दाब काढिता येतो. वरील दोन्ही आकृतींत **श** बाजू उतरणीच्या सपाटीवरील दाब दर्शविते. आणि त्रिकोणाच्या दुसऱ्या बाजू वजन आणि शक्ति दर्शवितात.*

उदाहरणें.

(१) ज्या उतरणीचा २० फूट लांबीत ३ फूट चढ आहे अशा उतरणीवर ५० शेरांचें वजन तोंडून धरण्यास उतरणीच्या सपाटीशीं समांतर अशा दिशेंत कार्य करणारी केवढी शक्ति लावावी लागेल? उ०, ७३ शेरा.

(२) उतरणीचा पाया ८ फूट आणि उंची तीन फूट आहे. अशा उतरणीवर १० हंड्रेटवेटांचें वजन तोंडून धरण्यास उतरणीच्या सपाटीशीं समांतर अशा दिशेंत कार्य करणारी केवढी शक्ति लाविली पाहिजे? उ०, ६ हंड्रेटवेट.

(३) उतरणीवर तिच्या पायाशीं समांतर अशा दिशेंत कार्य करणाऱ्या शक्तीनें वजनास तोंडून धरिलें आहे. जेव्हां वः शः १४३ : २४ असें प्रमाण असलें तर उतरणीचा कल किती असेल तें काढ? उ०, १४५ मध्ये २४ फूट.

(४) उतरणीच्या सपाटीशीं समांतर दिशेंत कार्य करणारी प पोंडाची शक्ति २ प पोंडांच्या वजनास तोंडून धरिते. तर उतरणीचा कल काय असेल? उ०, २ मध्ये १.

(५) २० फूट उंचीची एक भिंत आहे. तिच्या माथ्यावर ६ टनांचे ओझे क्षितिजपान-

* **श** उतरणीच्या तिन्ही बाजू शक्ति, वजन आणि प्रतिबंध यांच्या दिशांशीं समांतर आहेत व या प्रेरणा समतोल आहेत. ∴ शः वः प्रः :: घट्टः श्रुतः श्रुतः :: बकः अकः अब, आणि शः वः प्रः :: घट्टः श्रुतः श्रुतः :: बकः अबः अक, अशीं अनुक्रमें (आकृति ५१ आणि आ० ५२) यांत प्रमाणें असतात. भा.

ळीशीं समांतर अशा दिशेत कार्य करणाऱ्या ७२० पोंडांच्या शक्तीनें एका उतरणीवर तोडून धरिलें आहे. तर ती उतरण भिनीपासून किती अंतरावर टेंकलेली असेल ?

४०, ३७३.३३ फूट.

(६) सपाट पातळीवर गाडी ओढण्यास गाडीच्या वजनाच्या $\frac{३१}{१००}$ शक्ति लागते, नर ड्या उतरणीचा चढ ४३ मध्ये १ आहे अशा उतरणीवर तें ओझें चढविण्यास किती शक्ति लागेल ?

७०, सर्व वजनाचा $\frac{२४.९२}{१००}$ वा भाग.

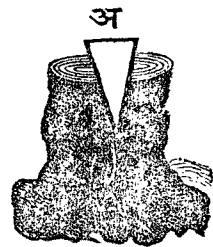
(७) उतरणीवर ५०० पोंडांचें वजन तोडून धरण्यास तिच्या माथ्यावर अक्षचक्रानें ५० पोंडांची अशी शक्ति लाविली आहे कीं, वजनास लाविलेली दोरी उतरणीच्या सपाटीशीं समांतर आहे. जर अक्षचक्राचें चाक्र व त्याचा कणा यांच्या त्रिज्या अनुक्रमें १ फूट व $\frac{३}{४}$ फूट असतील तर उतरणीच्या उंचीचें लांबीशीं काय प्रमाण असेल ?

७०, $\frac{३}{४}$.

(८) दोन भिन्न भिन्न कलाच्या उतरणी त्यांच्या पाठी किंवा उंची एकत्र जोडून एक दुरी उतरण बनविलेली आहे व हिच्या माथ्यावर कणी असून तिजवरून गेलेल्या दोहों शेवटास अडकविलेली १० व १५ पोंडांचीं दोन वजनें दोहों उतरणीवर परस्पर तोललेली आहेत. जर लांब उतरणीची लांबी ६ फूट ७ इंच असेल तर दुसऱ्या उतरणीची लांबी किती असली पाहिजे ?

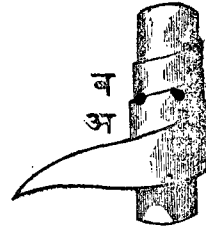
७०, ४ फूट ४ $\frac{३}{४}$ इंच.

८३. पाचर—आकृति ५३ मध्ये पाचर दाखविलें आहे. पाये किंवा तळ एका जवळ एक एका पातळीत यावे अशा रीतीनें दोन उतरणी जोडल्या जाऊन पाचर झालेलें आहे. शक्तीस जसें वजन तसें पाचराच्या अर्ध्या पाठीस त्याची लांबी हें प्रमाण असलें ह्मणजे पाचर समतोल असतें. पाचरावर ज्या शक्तीचा व्यापार होतो ती शक्ति केवळ दाब नसून आघात किंवा टोले या रूपाची असते. आणि पाचराच्या कार्यात घर्षण फार महत्त्वाची शक्ति असते. कारण वास्तविक म्हणजे आकृति ५३ वी. ज्या टोल्यांनीं पाचरास पुढें सारितों ते टोले बंद होतांच पाचर मागे सरावें ; परंतु प्रत्यक्ष तसें कधीं घडत नाहीं. कारण पाचर आणि तें ज्यांत मारितों तो पदार्थ या दोहोंचें घर्षण त्यास आपल्या स्थितीत स्थिर धरितें.



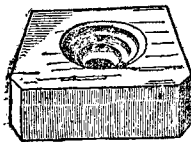
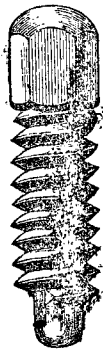
व्यवहारांत पाचराचा उपयोग फार साधारण आहे. चाकू, आशी, किं-
करी, व कापण्याचीं दुसरीं हत्यारें हीं पाचराचीं उदाहरणें होत. लांकूड
चिरण्यास व वजनें उचलण्यास जो पाचराचा उपयोग होतो त्याची माहिती
सर्वास असते; याकरितां त्याचें येथें वर्णन करण्याची गरज नाहीं.

८४. **मळसूत्र**—मळसूत्र हें रुळावर गुंडाळलेली उतरण आहे. काटकोन त्रिकोणावर कागद कापून तो बाजूच्या आकृतींत (आकृति ५४) दाखविल्याप्रमाणें लांकडी रुळावर गुंडाळून मळसूत्र करितां येतें. या त्रिकोणाचा कर्ण याप्रमाणें रुळावर गुंडाळला म्हणजे रुळावरील कागदाची सर्पाकृति धार मळसूत्राचें सूत्र किंवा करवे दर्शविते. याप्रमाणें केलेल्या मळसूत्रास नर मळसूत्र म्हणतात. हें मळसूत्र धातूच्या किंवा लांकडाच्या पोकळ तुकड्यांत नेहमीं फिरतें. याच्या पोकळींत सर्पाकृति खोलगट अशी खांच असते कीं, तींत मळसूत्राचें सूत्र म्हणजे त्याचे करवे बरोबर बसतात. मळसूत्र आणि तें ज्या



आकृति ५४.

पोकळ तुकड्यांत फिरतें त्या दोहोंस अनुक्रमें नर आणि मादी अशीं नांवें नेहमीं कारागीर देतात. बाजूच्या (आकृति ५५) आकृतींत नर व त्याची मादी दाखविली आहेत.



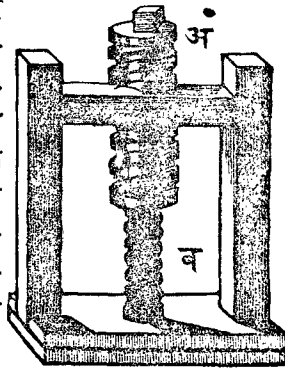
आकृति ५५.

मळसूत्राचें सूत्र किंवा करवे हे चौकोनाकार किंवा त्रिकोणाकार असतात. परंतु त्रिकोणाकार सूत्र किंवा करवे फार दृष्टीस पडतात. कारण चौकोनी सूत्राचें मळसूत्र करण्यास फार आयास लागतात. रुळावर गुंडाळलेल्या उतरणीचा कल जसा जास्त असेल त्याप्रमाणें मळसूत्राच्या विवक्षित लांबीत करव्यांची संख्या कमी असेल, हें उघड आहे. जवळ जवळच्या दोन करव्यांमधील किंवा सूत्रांमधील अंतर यास सूत्रांतर किंवा करव्यांची उंची असें म्हणतात. परंतु मळसूत्राच्या एक इंच लांबीत सूत्राचे जे उंचवटे असतील, ते मोजून दर इंचावर अमुक सूत्रें किंवा करवे मळसूत्रास आहेत असें ह्मणण्याचा अधिक प्रचार आहे. जर सूत्रांतर दिलें असलें तर त्यावरून दर इंचास किती सूत्रें किंवा करवे पडतात तें किंवा दर इंचास करव्यांची संख्या दिली असल्यास सूत्रांतर किती आहे हें काढितां येतें. मळसूत्राच्या नरास किंवा मादीस उच्चालक लावून त्याणें नेहमीं मळसूत्र फिरवितात.

आकृति ५४ मध्ये दाखविलेल्या मळसूत्राचा विचार केला तर असें

स्पष्ट दिसेल कीं, जर एक पदार्थ अ पासून निघाला आणि सर्पाकृति सूत्र ज्याचें झालें आहे त्या उतरणीवर सरकत गेला, तर मळसूत्राचा एक फेरा पूर्ण झाला म्हणजे तो पदार्थ ब ठिकाणीं पोचेल, म्हणून प्रत्येक फेर्यानें नर सूत्रांतराइतका मार्दीतून खालीं उतरतो. जर मळसूत्र उच्चालकांनं फिरविलें, तर त्याच्या एका फेर्यांत उच्चालकाच्या फिरण्यानें त्याचें टोंक जें वर्तुळ करील त्याच्या परिघाइतक्या अवकाशांतून शक्ति फिरेल आणि याच काळांत नर सूत्रांतराइतक्या अंतरांतून खालीं उतरेल; यास्तव शक्ति आणि वजन यांच्या कामाच्या समतेवरून अशी सारणी निष्पन्न होते, शक्ति $\times$ उच्चालकाच्या टोंकांनं केलेल्या वर्तुळाचा परिघ = वजन $\times$ सूत्रांतर; यास्तव, शक्तीस जसे वजन तसे सूत्रांतरास शक्तीच्या फिरण्यानें झालेल्या वर्तुळाचा परिघ, असें प्रमाण असलें म्हणजे मळसूत्रांत शक्ति आणि वजन समतोल असतात.

मळसूत्राच्या समतोलत्वाच्या नियमावरून असें दिसतें कीं, जर आपणास फार मोठ्या यांत्रिकस्वार्थाची अपेक्षा असेल, तर सूत्रांतर फार कमी असलें पाहिजे, म्हणजे सूत्र फार बारीक केलें पाहिजे; किंवा ज्या उच्चालकांनं मळसूत्रास फिरवितों त्याची लांबी फार वाढविली पाहिजे. फार बारीक सूत्र मोठ्या दाबांनं तेव्हांच तुटेल आणि लांब उच्चालकाचाही पुष्कळ वेळां उपयोग करितां येणार नाहीं. याकरितां साध्या मळसूत्रांनं जो यांत्रिकस्वार्थ मिळतो तो फार माफक असतो. या दोन्ही अडचणी टाळून यांत्रिकस्वार्थ बहुतेक अमर्याद वाढवितां येण्याकरितां हंटर यानें शोधून काढिलेल्या संयुक्त मळसूत्राचा उपयोग करितात. हें मळसूत्र या (आकृति ५६) आकृतींत दाखविलें आहे. यांत दोन मळसूत्रें असतात. एक दुसऱ्यांत असें फिरतें कीं, जेव्हां अ मळसूत्र खालीं जातें तेव्हां दुसरें ब मळसूत्र वर जातें; आणि ब खालीं जातें तेव्हां अ वर जातें. जर दोन्ही मळसूत्रें सारख्या सूत्रांतराचीं असलीं तर धाकट्याच्या तळास लाविलेली दाबण्याची फळी स्थिर राहिल. कारण ती एकांनं जितकी खालीं उतरेल तितकीच दुसऱ्यांनं वर चढेल. परंतु दोहोंपैकीं एकाचें—



आकृति ५६.

उदाहरणार्थ आंतल्याचें—सूत्रांतर बाहेरच्याहून किंचित् भिन्न असेल, तर हें उघड आहे कीं, जर बाहेरील मळसूत्र एका फेऱ्यांत त्याच्या सूत्रांतरा-इतक्या अंतरांतून दाबणीस वर चढवील, तर आंतलें धाकटें मळसूत्र त्याच्या सूत्रांतराइतक्या अंतरांतून त्याच एका फेऱ्यांत दाबणीस खाली उतरील; म्हणून बाहेरील व आतील मळसूत्रांच्या सूत्रांतरांच्या अंतराइतकी दाबणी एकंदर वर चढेल. जरी मळसूत्रें आबड धोबड असलीं तरी हें अंतर आपणांस पाहिजे तितकें कमी ठेवितां येईल, यास्तव संयुक्त मळसूत्रांच्या समतोलत्वाचा नियम असा निघतो. शक्तीस जसे वजन, तसे सूत्रांतरांच्या वजाबाकीस शक्तीच्या फिरण्यानें झालेल्या वर्तुळाचा परिघ.

उदाहरणे. .

(१) ज्या मळसूत्राचें सूत्रांतर $\frac{3}{4}$ इंच आहे आणि ज्यास फिरविणाऱ्या उच्चालकाची लांबी २ फूट आहे, अशा मळसूत्रास १ पोंडाची शक्ति लाविल्यास किती पोंडाचें वजन उचलितो येईल?

टीप—वर्तुळाचा परिघ = व्यास $\times \pi$. 2.18159 . उत्तर, 301.592 पोंड.

(२) ज्या मळसूत्राचा व्यास $\frac{1}{2}$ इंच आहे, आणि ज्याचें सूत्रांतर $\frac{3}{4}$ इंच आहे अशा मळसूत्रापासून यांत्रिकस्वार्थ किती प्राप्त होईल? उ०, 37.699 .

(३) ज्या मळसूत्राचे करवे $1\frac{1}{2}$ इंचांत १९ आहेत अशा मळसूत्रास फिरविण्यास 269 पोंडांची शक्ति $1\frac{1}{2}$ इंच लांबीच्या उच्चालकानें लाविली, तर किती वजन उचलितो येईल? उ०, 189.9 टन.

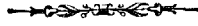
(४) छापण्याची दाबणी एक मनुष्य 100 पोंडांच्या शक्तीनें दाबीत आहे; या दाबणीच्या मळसूत्राचें सूत्रांतर $\frac{3}{4}$ इंच असलें, तर २ टनाचा दाब पाडण्यास शक्ति किती लांबीच्या उच्चालकानें लाविली पाहिजे? उ०, 5.28 इंच.

(५) मळसूत्रास फिरविणाऱ्या ४ फूट 2 इंच लांबीच्या उच्चालकास 2 हंड्रेटवेट ३ क्वार्टर आणि 20 पोंड एवढी शक्ति लाविली असतां 1000 टनाचा दाब घालितां येतो; तर मळसूत्राचें सूत्रांतर किती असेल? उत्तर, $15\frac{1}{2}$ इंच.

(६) संयुक्त मळसूत्रास फिरविण्याच्या उच्चालकाची लांबी २ फूट आहे व त्यास 100 पोंडांची शक्ति लाविली आहे. दोहों मळसूत्रांचीं सूत्रांतरे अनुक्रमेण $.5$ आणि $.545$ च आहेत, तर किती वजन उचललें जाईल तें सांग ? उत्तर, 79.19 टन.

समाप्त.

परीक्षेकरितां प्रश्न.



- (१) पदार्थ कोणत्या तीन रूपांत किंवा स्थितींत आढळतात ?
- (२) अणुशक्ति म्हणजे काय ?
- (३) अण्वकर्षणाच्या तीन जाती कोणत्या तें सांग ?
- (४) रसायनाकर्षण आणि स्नेहाकर्षण यांत भेद काय आहे ?
- (५) संलग्नता म्हणजे काय ?
- (६) घर्षण म्हणजे काय ?
- (७) दोन विवक्षित पृष्ठभागांमधील घर्षणाचा दाबाशी काय संबंध असतो ?
- (८) पदार्थाचे सांख्यिक आणि औपाधिक धर्म कोणते ?
- (९) वायूस संकुचित केलें म्हणजे काय परिणाम घडतात ?
- (१०) स्वतंत्रचलन आणि संबंधीचलन म्हणजे काय तें स्पष्ट कर ?
- (११) न्यूटन याच्या गतीविषयीच्या पाहिल्या नियमाची व्याख्या दे ?
- (१२) मुलगा उडी मारितांना उडी मारण्याच्या ठिकाणी पळत कां येतो ?
- (१३) मोठ्या वेगानें चालणाऱ्या आगगाडीस एकाएकी थांबविलें तर गाडींतून जाणाऱ्या उताऱूंवर काय परिणाम होतो ?
- (१४) प्रसरणशीलता आणि उद्बर्तनीयता यांचें स्पष्टीकरण कर ?
- (१५) धारणा किंवा चिंवटपणा म्हणजे काय ? लोखंड आणि सोनें यांपैकी कोणत्या धातूच्या आंगी धारणाशक्ति जास्त आहे ? आणि कोणती जास्त प्रसरणशील आहे ?
- (१६) काठिण्य किंवा दृढता म्हणजे काय ? काठिण्याच्या श्रेढीच्या अनुक्रमानें खनिज पदार्थांचीं नांवे लिहो.
- (१७) पदार्थाचें नित्यत्व म्हणजे काय ? उदाहरणें देऊन उत्तर स्पष्ट कर ?
- (१८) एक घनइंच हवेचें वजन काय आहे ?
- (१९) समुद्रकाठीं दरचौरस इंच पृष्ठभागावर हवेचा दाब किती असतो ?
- (२०) वातावरणाच्या दाबानें सर्व प्राणी अगदीं चेपले कां जात नाहींत ?

(२१) किल्लीच्या नळींतील हवा तोंडांनं ओढून घेतली, तर किल्ली आंठास कां चिकटते?

(२२) थोडी हवा असलेली पातळ त्वचेची पिशवी वाताकर्षकाच्या ग्राहकाखाली ठेविली तर ग्राहक रिता करीत गेलें म्हणजे पिशवी कां फुगूं लागते?

(२३) आकृति काढून वाताकर्षक यंत्राच्या रचनेचें वर्णन कर.

(२४) भारमापकाचें वर्णन कर. डोंगरावर चढलें म्हणजे भारमापकांतील पारा कां उतरतो?

(२५) वाताकर्षक यंत्राच्या ग्राहकांत जर भारमापकाचा पेला ठेविला आणि ग्राहकास रितीं करीत गेलें तर पारदस्तंभाच्या उंचींत कांहीं फेरफार होईल कीं काय?

(२६) भारमापकाच्या नळीच्या माथ्यावरील बंद टोंकास भोंक पाडिलें तर त्यापासून काय परिणाम घडेल ?

(२७) आर्द्र हवा आणि शुष्क हवा या दोहोंपैकीं अधिक जड कोणती तें सकारण सांग.

(२८) ३००० फुटांहून कमी उंचीच्या डोंगरांच्या उंची स्थूलमानानें भारमापकांनं कशा काढितां येतात ?

(२९) ध्वनीच्या वहनास हवेचें अस्तित्व अवश्य आहे, हें कसें दाखवितां येईल ?

(३०) हवेंत व निर्वातस्थळीं पदार्थांचीं वजनं केलीं, तर त्यांत काय फरक पडतो ?

(३१) एका तराजूनें व पितळेच्या वजनांनीं एका पितळेच्या गोळ्याचें हवेंत व निर्वातस्थळीं वजन केलें, तर त्या दोहोंत कांहीं फरक असेल किंवा नाहीं ?

(३२) पितळेच्या गोळ्या ऐवजीं बुचाचा तुकडा घेतला तर कांहीं फरक पडेल कीं काय ?

(३३) पदार्थावर उष्णतेचा साधारण परिणाम काय घडतो ?

(३४) रूपांतर म्हणजे काय ? उदाहरण दे.

(३५) उष्णता लाविल्यानें धातूची कांब लांब होते हें ज्या प्रयोगांनं दाखवितां येतें त्या प्रयोगाचें वर्णन कर.

(३६) ज्या माध्या प्रयोगांनं पितळ आणि लोखंड हे धातु सारखे प्रसरण पावत नाहींत हें सिद्ध होतें त्याचें वर्णन कर.

(३७) द्रवरूपी पदार्थास उष्ण केलें असतां ते प्रसरण पावतात हें

कसें दाखवितां येतें? सर्व द्रवरूपी पदार्थ सारख्या मानानें प्रसरण पावतात कीं काय ?

(३८) उष्ण केल्यानें वायु प्रसरण पावतात हें दाखविण्याकरितां प्रयोगाची योजना कशी करितात ? सर्व वायु सारखे प्रसरण पावतात कीं काय ?

(३९) मांट गोल्फिअर किंवा अभ्रिविमान यांचें वर्णन कर.

(४०) विमानाचा वरचढण्याचा जोर कशाला ह्मणतात व तो कसा काढितां येतो ?

(४१) धातूंचें प्रसरण व आकुंचन यांच्या जोराचा चाकांवर धांवा बसवितांना लोहारलोक व्यवहारांत कसा उपयोग करून घेतात ?

(४२) प्रेरणा, समतोलत्व, आणि फलितप्रेरणा यांच्या व्याख्या लिही.

(४३) रेषांनीं प्रेरणा कशा दर्शवितां येतात ?

(४४) प्रत्येकाचा जोर ३० पौंडांचा आहे असे दोघे मुलगे दोरीच्या दोहों शेवटांकडे परस्पर उलट दिशेनें तीस ओढीत आहेत, तर त्या दोरीवर त्यांच्या ओढण्याच्या जोरामुळे तण किती पडेल तें सांग ?

(४५) प्रेरणासमांतरभुज चौकोनाच्या सिद्धांताची प्रतिज्ञा लिही.

(४६) ह्या सिद्धांताची सत्यता प्रत्यक्ष प्रयोगांनं कशी दाखवितां येते ?

(४७) प्रेरणेचें पृथक्करण करून घटक काढणें म्हणजे काय ? आणि प्रेरणांचें एकीकरण करणें म्हणजे काय ?

(४८) प्रेरणा त्रिकोणाच्या सिद्धांताची आणि त्याच्या उलट सिद्धांताची अशा व्याख्या लिही.

(४९) अनेक समांतर प्रेरणांची फलितप्रेरणा, तिची दिशा व तिचा कार्य करण्याचा बिंदु हीं कशीं काढितात ?

(५०) प्रेरणायुग्म म्हणजे काय ?

(५१) विवक्षित बिंदूसंबंधीं प्रेरणेचें भ्रामकत्व म्हणजे काय ? भ्रामकत्वाच्या समतेच्या सिद्धांताची प्रतिज्ञा लिही.

(५२) जहाज जाण्याच्या मार्गाशीं बहुतेक उलट अशा दिशेनें वारा वाहत असतां त्या वाय्यानें इच्छित दिशेस जहाज कसें चालवितां येतें ?

(५३) पृथ्वीचें गुरुत्व किंवा आकर्षण म्हणजे काय ? ज्या पदार्थास आधार असतो त्या आधारावर या आकर्षणामुळे काय परिणाम घडतो ?

(५४) शिशाचा तुकडा व कथिलाच्या वर्खाचा तुकडा यांस एकाच उंचीवरून टाकिलें असतां दोन्ही एकदम खालीं पडतात हें कसें दाखवितां येतें ?

(५५) कोणत्या दिशेनें गुरुत्वाचा व्यापार घडतो ?

(५६) मुंबईस ज्या शिशाच्या तुकड्याचें एक औंस वजन भरतें त्याचें पृथ्वीवर सर्वांत उंच अशा एव्हेरेस्ट पर्वताच्या शिखरावर एकच औंस वजन भरेल कीं काय ? .

(५७) पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील निरनिराळ्या स्थळांच्या गुरुत्वाचा जोर आंदोलकांनै कसा काढितां येईल ?

(५८) गुरुत्वमध्य म्हणजे काय ? .

(५९) लोखंडी पत्त्याचा गुरुत्वमध्य प्रत्यक्ष प्रयोगानें कसा काढावा ?

(६०) दिक्रेषा म्हणजे काय ? पदार्थास स्थिरावस्था प्राप्त होण्यास ही रेषा त्याच्या कोणत्या भागांतून गेली पाहिजे ?

(६१) मनुष्य डोंगरावर चढतांना आपला तोंल पुढें कां टाकितो व उतरतांना मागें कां टाकितो ?

(६२) समतोलत्वाची स्थिरावस्था, अस्थिरावस्था, आणि सामान्यअवस्था ह्मणजे काय ?

(६३) दुरा शंकू वर्गांत उतरणीवर चढतांना दाखविला त्याचें स्पष्ट कारण सांग.

(६४) काम, फुटपौंड, शक्तीचें काम करण्याचें सामर्थ्य आणि वाफरूप घोडा या पारिभाषिक शब्दांच्या व्याख्या लिही.

(६५) यंत्राचा उपयोग काय ? यंत्राच्या योगानें जास्त काम करवून घेतां येईल कीं काय ?

(६६) “शक्ति साधली तर काळ जातो, आणि काळ साधला तर शक्ति जातें” याचें स्पष्टीकरण कर.

(६७) यंत्रापासून यांत्रिकस्वार्थ होतो असें केव्हां म्हणतात ?

(६८) मुख्य यांत्रिकशक्ति कोणत्या तें सांग ?

(६९) निरनिराळ्या वर्गांच्या उच्चालकांचें वर्णन कर.

(७०) उच्चालक समतोल राहण्यास कोणत्या गोष्टी अवश्य आहेत तें काढ.

(७१) जरी तराजूच्या भुजा असमान असल्या तरी पदार्थाचें खरें वजन काढितां येतें; खरें वजन काढण्याची बोर्डाची रीति सांग.

(७२) अनेक उच्चालकांची सांगड समतोल राहण्यास कोणत्या गोष्टी अवश्य आहेत त्या काढ.

(७३) आर्किमिडीस ह्मणत असे कीं, आपणास पाहिजे तेवढा लांब उच्चालक आणि उभें राहण्यास जागा मात्र द्या, ह्मणजे मी पृथ्वीस उचलीन. सूर्यमालेंतून पृथ्वीस तिच्या स्थानापासून सरकविलें तर त्यापासून काय परिणाम होण्याचा संभव आहे तें सांग.

(७४) अक्षचक्राच्या समतोलत्वास लागणाऱ्या अवश्य गोष्टी काढ.

(७५) संयुक्त अक्षचक्राचें वर्णन कर आणि याणें फार मोठा यांत्रिक-स्वार्थ कसा प्राप्त करून घेतां येतो तें सांग.

(७६) कप्प्यांच्या कोणत्या तीन रचना प्रचारांत फार साधारण आहेत ?

(७७) तीन रचनांपैकीं प्रत्येक रचनेच्या समतोलत्वाच्या अवश्य गोष्टी काढ.

(७८) संयुक्त कप्पीचें वर्णन कर आणि तिजपासून केवढा मोठा यांत्रिकस्वार्थ करून घेतां येईल तें दाखीव ?

(७९) उतरणीच्या सपाटीशीं समांतर अशा दिशेंत जेव्हां शक्ति कार्य करिते तेव्हां समतोलत्वाची सारणी काढ.

(८०) जेव्हां उतरणीच्या पायाशीं समांतर दिशेंत शक्ति कार्य करिते तेव्हां समतोलत्वाची सारणी काढ.

(८१) उतरणीचा कल नेहमीं कसा मापितात ? उतरणीचा कल २० त १ आहे असें म्हणतात याचा अर्थ काय ?

(८२) उतरणीचे कांहीं व्यावहारिक उपयोग सांग.

(८३) पाचर सारण्यास नेहमीं कोणत्या शक्तीचा उपयोग करितात ?

(८४) पाचराचे कांहीं व्यावहारिक उपयोग सांग.

(८५) मळसूत्राचें अगदीं साधें रूप कशापासून झालेलें आहे ?

(८६) नर आणि मादी म्हणजे काय ?

(८७) मळसूत्राचें सूत्रांतर म्हणजे काय ?

(८८) मळसूत्राच्या समतोलत्वाच्या अवश्य गोष्टी काढ.

(८९) साध्या मळसूत्रानें फार मोठा यांत्रिकस्वार्थ प्राप्त करून घेणें व्यवहारांत को साधत नाहीं ?

(९०) हेंटरच्या मळसूत्राचें म्हणजे संयुक्त मळसूत्राचें वर्णन कर.

(९१) संयुक्त मळसूत्राच्या समतोलत्वाची सारणी काढ.



